

22 - 11 - 96

INFORME No. 53

**ALGUNOS METODOS DE  
INVESTIGACION EN SUELOS**

**Dominique HERVE**

**Editor Científico**

**ORSTOM**

L'INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION



INSTITUTO BOLIVIANO DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA

# **ALGUNOS METODOS DE INVESTIGACION EN SUELOS**

Dominique HERVE (Ed.)

**IBTA**

**ORSTOM**

Noviembre 1996  
La Paz, Bolivia



## POR QUE SE NECESITAN NUEVOS METODOS DE INVESTIGACION EN SUELOS?

*Dominique HERVE*<sup>1</sup>

En el corriente de reflexión sobre el uso de los recursos naturales renovables, el suelo ocupa un lugar privilegiado. Hablar de suelos y hablar de manejo de suelos no es lo mismo. El primero enfoque se interesa a las propiedades del suelo, su génesis, y la clasificación de suelos, el segundo a las condiciones y factores de movilización de los elementos minerales que contiene, para una producción vegetal. Este último hace intervenir entonces las técnicas de cultivo, involucrando el agrónomo en un campo anteriormente reservado al edafólogo.

El rendimiento de un cultivo esta frecuentemente utilizado para medir el efecto de diferentes tecnicas de cultivo y determinar asi la "mejor" técnica. Se pretende probar asi, por ejemplo, nuevos implementos. En realidad sus condiciones de uso y luego las interacciones con el clima (clima-suelo-planta) influyen tal vez más que el implemento sobre la elaboracion del rendimiento del cultivo. Eso significa que no hay, en general, una relación directa técnica-rendimiento.

Las técnicas de cultivo contribuyen a modificar, en interacción con el clima, los estados del suelo. Estos estados son más o menos favorables a la instalación de una población vegetal, luego al desarrollo de un sistema radicular y, en particular, a la alimentación hídrica de las plantas. La relación anterior se descompone entonces en una relación técnica-estado del suelo y una relación estado del suelo-elaboración de los componentes del rendimiento del cultivo.

Con este enfoque, uno necesita de herramientas de caracterizacion de los estados sucesivos del suelo cultivado que conlleven a un diagnóstico sobre las relaciones clima-suelo-planta. Son informaciones que no se consigue, sino por parte, mediante un perfil edafológico y que exigen, para su obtención, mucho rigor en cuanto a las unidades estructurales muestreadas.

Es tambien importante considerar la variabilidad de estas observaciones en el espacio y en el tiempo. De allí vienen una serie de preguntas sobre los metodos de evaluación y la precisión de las determinaciones. Nuestra experiencia de investigación en el altiplano boliviano nos llevo a analizar de manera crítica cómo se obtienen resultados de análisis físico-químicos del suelo? con qué objetivos? y cómo interpretarlos cuando el suelo es muy pedregoso?.

En cuanto a fisica de suelo, se quiere completar los métodos conocidos como la determinación de la densidad aparente o el test de infiltración por otros métodos útiles para evaluar procesos erosivos: el test de estabilidad estructural de Hénin y el monitoreo del estado superficial del suelo.

(1) Dr. Agronomo ORSTOM, Convenio IBTA-ORSTOM "Dinámica de los sistemas de producción en el altiplano boliviano". Dirección actual: LEA, BP 5045, 34032 Montpellier, Fax: 0467547800, E-mail: [herved@orstom.rio.net](mailto:herved@orstom.rio.net)

Varios tests de estabilidad estructural existen, sobre todo por vías húmedas, pero son costosos en su implementación y no diferencian los procesos de desagregación en juego. En comparación, el método de estabilidad estructural de Hénin es robusto, poco costoso y es el único correlacionado con pérdidas de suelo. Pero el contenido de humedad inicial de la muestra influye sobre el resultado. Por ello, su adaptación a situaciones del altiplano central boliviano se debe modular si se quiere aplicar en otras zonas.

Se han reunido cuatro contribuciones, alternando artículos (1,3) y notas (2,4):

- 1- Diagnóstico de la calidad de los análisis de suelo en Bolivia. *Dominique HERVE.*
- 2- Cómo tomar en cuenta la pedregosidad del suelo? *Dominique HERVE, David RAMOS.*
- 3- Determinación de la estabilidad estructural de la superficie del suelo. *David RAMOS, Dominique HERVE.*
- 4- Monitoreo del estado superficial del suelo. *Dominique HERVE, David CONDORI, Victor MITA.*

Este texto no pretende ser original (partes del texto han sido traducidos del francés, como se indica al inicio de cada artículo), ni exhaustivo (métodos específicos adaptados a suelos salino-sódicos, por ejemplo, no han sido tratados aquí), sino de aporte y de reflexión metodológica. Pero los métodos no son recetas. La mayor dificultad consiste justamente en situarse en un nivel de precisión y una escala en función de los objetivos. Explicitar los objetivos es entonces imprescindible; ninguna regla queda válida en todos los casos.

Aun lo fastidioso que es leer métodos de investigación en suelos, ojala este texto despierte preguntas en vez de confortar ideas fijas.

# DIAGNOSTICO SOBRE LA CALIDAD DE LOS ANALISIS DE SUELO EN BOLIVIA

*Dominique HERVE<sup>1</sup>*

## INTRODUCCION

Los análisis de suelo son el principal medio para determinar las características de los suelos y deducir de éstas su uso posible para la agricultura. La interpretación de estos análisis permite conocer los nutrientes disponibles para las plantas y las necesidades de fertilización. Las características físicas del suelo, empezando por la textura, también son importantes para evaluar la aptitud del suelo al riego, las condiciones de realización de las operaciones culturales y los riesgos de erosión. Boiffin & Monnier (1989) hablan de fertilidad física del suelo.

Los objetivos de estos análisis deben ser claramente definidos. Es también una manera de rentabilizar un costo que puede quedar fuera del alcance del pequeño productor. Las características físicas y químicas del suelo pueden variar en el tiempo, durante un ciclo anual, y en el espacio, a una escala decamétrica a hectométrica, así como verticalmente según la profundidad. Estimar estas variabilidades resulta esencial para el muestreo y para poder comparar resultados de análisis en el tiempo y en el espacio. La variabilidad debida a la cobertura vegetal y la variabilidad anual de las determinaciones de pH, nitrógeno, materia orgánica, han sido estimadas por Salm (1983a y b) en el Altiplano central.

¿Qué diferencia más pequeña entre dos muestras se puede poner en evidencia con los métodos de análisis y los procedimientos actualmente usados en Bolivia, desde la toma de muestras hasta la interpretación de los resultados?

Para responder a esta pregunta, buscamos caracterizar la variabilidad intra e inter laboratorios, diferenciando la que proviene de los procedimientos - **los laboratorios no usan los mismos métodos o las mismas normas** - de la variabilidad de los mismos resultados. Esta última se puede descomponer en un **error de muestreo** (anexo 1), generalmente superior al error debido al análisis químico (Peck & Melsted, 1973), y un **error de medición** explicado, ya sea por fallas del material (error sistemático), sea por una aplicación inapropiada del procedimiento: proporción suelo - solución, tiempo de extracción, error de manipuleo durante las operaciones sucesivas del proceso, sobre o subevaluación de una lectura por un individuo. La **sensibilidad de la medida**, que permite apreciar su calidad, se puede evaluar con la variabilidad de los resultados, midiendo el mismo objeto constante de diferentes maneras y con la variabilidad de resultados obtenidos por la repetición del mismo procedimiento (Kempthorne & Allmaras, 1986).

---

<sup>1</sup> IBTA-ORSTOM, Convenio "Dinámicas de los sistemas de producción en el altiplano boliviano".

Este trabajo preliminar está destinado a llamar la atención de los utilizadores de análisis de suelo. Luego de revisar las normas aplicadas por los laboratorios, comparamos dos laboratorios bolivianos (I y II) y dos laboratorios franceses de referencia (A y B), en base al análisis de muestras duplicadas, provenientes del altiplano central boliviano. Considerando que el número de muestras involucradas en las comparaciones intra e inter laboratorios es inferior a 10, usamos como indicador de variabilidad, no la desviación estandar ( $\sigma$ ), sino el valor: (Max- Min)/promedio, expresado en %.

## METODOS DE ANALISIS DE SUELO EN DISTINTOS LABORATORIOS

La referencia explícita al método de análisis empleado es indispensable para poder comparar los resultados. Algunos métodos son homogeneizados a nivel internacional, otros no. Por ejemplo, las cifras indicadas en cada clase de textura son porcentajes que no siempre se ajustan a una suma de 100. Algunos laboratorios hacen este ajuste sistemáticamente. Además, para un mismo método de análisis, los resultados son comparables sólo si los procedimientos son correctamente respetados: extracciones, tiempos de mezcla o de espera antes de una lectura, temperaturas, diluciones etc., y si los resultados están expresados en la misma unidad de medida (ppm, meq/100 g, mg/kg, %,‰, ...).

Por ejemplo, los métodos de granulometría difieren entre los laboratorios que utilizan el método de la pipeta de Robinson y los que usan el método del hidrómetro de Bouyoucos (cuadro 1).

- El método del **hidrómetro de Bouyoucos** es rápido, de bajo costo, pero es poco preciso; es un método calibrado para un suelo franco medio. Tienen que adaptarse los tiempos de lectura a los diferentes tipos de suelo analizados. Si el centro de flotación del hidrómetro está mantenido sumergido a una profundidad uniforme en la suspensión, el método da una lectura del promedio de densidad de la suspensión sobre una porción de la curva de texturas. La exactitud depende del conocimiento de la densidad de las partículas de suelo y del control de la temperatura durante el experimento (entre 10 y 40 °C). La adherencia de partículas de suelo a los salientes del hidrómetro es otra fuente de inexactitud. Se reporta errores de hasta 14% para la fracción arcillosa (Gavande, 1986) y los valores obtenidos con este método son superiores a los de la pipeta de Robinson.

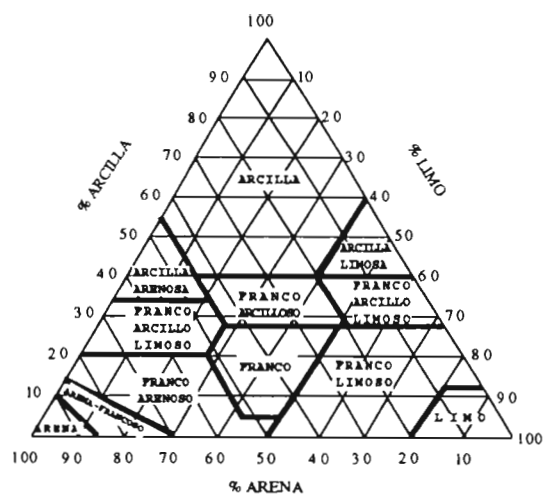
- El método de la **pipeta de Robinson** se aplica en laboratorios franceses. Se usa una muestra de suelo de 10 g secado al aire. Se ataca la materia orgánica con agua oxigenada a 40 vol. (50ml), se dispersa con 25 ml de pirofosfato de sodio a 40 g/l y, luego de una agitación mecánica, se saca dos horas más tarde con la pipeta de Robinson, fracciones separadas por sedimentación de arcilla más limo fino y luego de arcilla sola. Se recupera la arena luego de eliminar las fracciones arcilla más limo fino por aspiración y luego se tamiza para separar las tres últimas fracciones limo grueso, arena fina y arena gruesa. Tiene la ventaja de poder separar las fracciones limo fino y limo grueso pero la determinación de esta última fracción es problemática; obtenida por diferencia, acumula la incertidumbre de las otras medidas (Baize, 1988; Plet, 1990).

**Cuadro 1. Métodos empleados por dos laboratorios franceses de referencia y algunos laboratorios bolivianos**

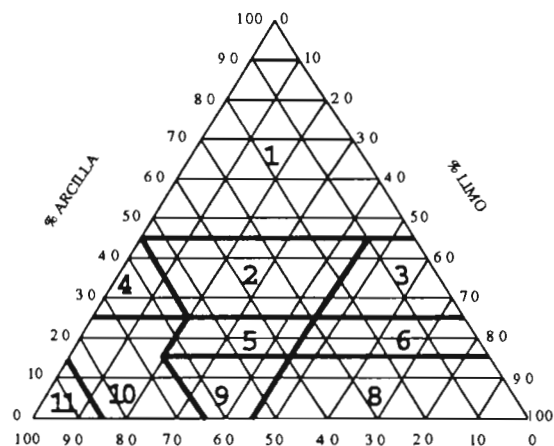
<b>Análisis</b>	<b>Laboratorios franceses</b>	<b>Laboratorios bolivianos</b>
<u>Granulometría</u>	Pipeta de Robinson. Clasificación de partículas por sedimentación. 5 clases (cuadro 2).	Hidróm de Boyoucos IBTEN y UMSS (3 clases), CIAT e Inst. Eco. (7 clases).
<u>pH agua (1)</u>	Determinación con pHmetro, relación suelo-agua: 1:2.5	Determinación con pHmetro, relación suelo-agua: 1:2.5 UMSS, 1:5 IBTEN y CIAT y 1:1 Instituto de Ecología.
<u>pH KCl (2)</u>	Relación suelo-agua 1: 2.5	1: 2.5 UMSS, 1:5 IBTEN y CIAT, 1: 1 Instituto de Ecología
<u>Conductividad eléctrica a 25 C en mmhos/cm (3)</u>	Suspensión suelo-agua: 1:2.5 Na < 1 meq/100 g.	Na= 1 a 2 meq/100 g.
<u>Carbono orgánico total (%)</u>	Método Anne	Oxidación carbibromato de potasio
<u>Nitrógeno total (%)</u>	Método Kjeldahl (Conversión de nitrógeno en sulfato de amonio)	Método Kjeldahl = UMSS, IBTEN y CIAT, expresado en %
<u>Materia orgánica (%)</u>		Walkley y Black modificados: UMSS y CIAT. Walkley y Black: IBTEN.
<u>P asimilable ppm (4)</u>	<u>Método Olsen</u> , extracción neutra (pH > 6.5) o alcalina con bicarbonato de sodio o modificado, con bicarbonato de sodio y fluoruro de amonio, expresado en ácido fosfórico (ppm). <u>Método Bray N° 1 ó 2</u> , extracción en medio ácido con fluoruro de amonio. <u>Método Joret Hebert</u> , para suelos calcáreos. Extracción con oxalato de amonio expresado en ácido fosfórico (g/kg). <u>Método Dyer</u> , para suelos neutros y ácidos. Extracción con ácido cítrico al 2%	<u>Método Olsen</u> : UMSS, CIAT e IBTEN, en suelos calcáreos, alcalinos y neutros, expresado en fósforo asimilable (ppm). <u>Método Bray y Kurts</u> : UMSS, CIAT, en suelos ácidos.
<u>K intercambiable (meq/100 g)</u>	Método internacional, extracción con acetato de amonio con pH 7, expresado en K <sub>2</sub> O intercambiable (g/kg). En ORSTOM (Bondy), extracción con cloruro de calcio, expresado en K intercambiable (meq/100 g)	Método internacional con acetato de amonio y fotometría de llama en CIAT, UMSS e IBTEN.
<u>Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 g)</u>	C.I.C. Método de Matson, acetato de amonio.	TBI = Ca+Mg+Na+K CIC = H+Ca+Mg+Na+K Método CIC "efectivo derivado": (CIAT).

- (1) El pH agua tiene variación estacional, según la humedad, la temperatura del suelo y el estado de aereación. Los valores obtenidos con la suspensión 1:5 son más elevados que con la suspensión 1:2.5.
- (2) El pH KCl es más cerca de un pH potencial, función de los cationes H<sup>+</sup> y Al<sup>+++</sup> intercambiables; es más estable en el tiempo, tiene un valor inferior al del pH agua.
- (3) Los resultados obtenidos sobre líquido pueden variar según la dilución 1:2.5 o 1:5. La mayor dilución se practica para muestras con mayor concentración de sodio (1 a 2 meq). El método de referencia es sobre pasta (extracto de saturación).
- (4) Los valores obtenidos por estos diferentes métodos no son correlacionados. Parece que el método Olsen toma más en cuenta la fracción asimilable del fósforo.



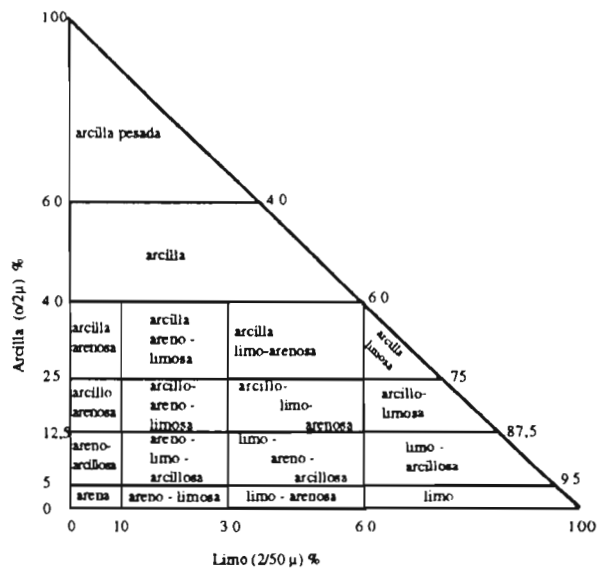


Triángulo de texturas. USDA - USA



1. Arcilla densa
2. Arcilla poco densa
3. Arcillo Limoso
4. Arcillo - arenoso
5. Franco - arcilloso
6. Franco arcillo - limoso
7. Franco arcillo - arenoso
8. Franco - limoso
9. Franco
10. Franco - arenoso
11. Arena

### SISTEMA INTERNACIONAL SICS



Clasificación de las tierras según su textura. (FRANCIA)

**Figura 2. Triángulos de textura adoptados en diferentes países**

Este ejemplo demuestra la necesidad de explicitar el método y el procedimiento utilizados para poder luego interpretar los resultados. Los límites entre clases de textura y entonces entre los "triángulos de textura" (fig. 2), que permiten su interpretación, varían según los sistemas de clasificación adoptados en cada país y, dentro de un mismo país, según el laboratorio (cuadro 2). Los límites más aceptados son para la arcilla: < 0.002 mm y para la arena: 0.05-0.2 mm. Constatamos en Bolivia que:

- el IBTEN y la UMSS manejan tres clases, similares al USDA o los laboratorios franceses: < 0.002 mm, 0.002-0.05 mm, 0.05-2mm;
- el CIAT maneja 7 clases similares al ODA (UK): < 0.002 mm, 0.002-0.02, 0.02-0.05, 0.05-0.15, 0.15-0.25, 0.25-0.5, 0.5-2 mm;
- Salm (1983a) determina 7 fracciones pero diferentes a las anteriores: < 0.002 mm, 0.002-0.0063, 0.0063-0.02, 0.02-0.063, 0.063-0.2, 0.2-0.63, 0.63-2 mm.

**Cuadro 2. Sistemas de clasificación de suelos según la textura**

	ORSTOM, INRA, FRANCIA	BRITISH STANDARDS INSTITUTION (1)	ODA INGLATERRA (2)	USDA EE.UU. (3)	SICS (4)	SUBDIV. TERMINOL ATTERBERG (5)	CSSC Canada Soil survey (6)
TEXTURA	5 Clases	7 Clases	7 Clases	7 clases	4 a 6 clases		
ARCILLA	< 0.002 mm	< 0.002 mm	< 0.002 mm	CLAY: <0.002mm	CLAY: 0.002 mm	Arcilla coloidal: <0.0005 mm Gruesa: > 0.0005 mm	<0.0002mm fine clay <0.002mm coarse clay
LIMO	0.002-0.05 mm Fino <0.02 mm Grueso >0.02 mm	0.002-0.06 mm Fino <0.006 mm Mediano <0.02 mm Grueso >0.02mm	0.002-0.05 mm Fino <0.02 mm Grueso >0.02 mm	SILT: 0.002-0.05 mm	SILT: 0.002-0.02 mm	Limo grueso <0.05 mm	<0.005mm fine silt <0.02mm medium silt <0.05mm coarse silt
ARENA	0.05-2 mm Fina <0.2 mm Gruesa >0.2 mm	0.06-2 mm Fina <0.2 mm Mediana <0.6 mm Gruesa >0.6 mm	0.05-2 mm Muy fina <0.15 mm Fina <0.25 mm Mediana <0.5mm Gruesa >0.5mm	0.05-2 mm Muy fina <0.1mm Fina <0.25 mm Mediana <0.5mm Gruesa <1 mm Muy gruesa >1mm	0.02-2 mm Fina <0.2 mm Fine sand <0.25 mm Gruesa >0.2mm Coarse sand >0.25	Arena fina >0.05 mm	<0.1 very fine sand <0.5 mm medium sand <1 mm coarse sand <2 mm very coarse sand
CASCAJO (Grard)	2-20 mm	>2 mm	>2 mm	Fino 2 mm - 1 cm Grueso 1 - 8 cm	2-20 mm		< 7 cm
PIEDRA	> 20 mm				> 20 mm		> 7 cm

Fuente: (1) ASHBURNER, SIMS (1984)  
 (2) BARBER (1985)  
 (3) ASHBURNER, SIMS (1984) y PACAL (1988)  
 (4) HENIN et al. (1972) y ASHBURNER, SIMS (1984)  
 (5) HENIN (1978)  
 (6) SALM (1990)

## VARIABILIDAD ENTRE MUESTRAS REPETIDAS PROCESADAS EN UN MISMO LABORATORIO

### Diferencia de resultados entre dos repeticiones del mismo análisis de granulometría (laboratorio de referencia B)

Se repitió dos veces el mismo análisis de granulometría sobre 5 muestras de suelo, 3 de textura más arenosa y 2 de textura más arcillosa. Las diferencias expresadas en porcentaje (cuadro 3) son siempre inferiores a 10%, más elevadas para las fracciones < 0.002 mm y 0.002-0.02 mm en suelo arenoso, y para la fracción 0.02-0.05 mm en suelo arcilloso. Baize (1988) señala que el error aceptable para granulometría es de 3 a 10%. Tomaremos el valor promedio de 5% como una norma bastante razonable para cualquier laboratorio de suelos.

**Cuadro 3. Diferencias entre los resultados del análisis textural de 2 repeticiones para 5 muestras (laboratorio B)**

Tamaño de partículas	TEXTURA ARENOSA			TEXTURA ARCILLOSA	
	1	2	3	4	5
< 0.002 mm	5.7	5.7	8.8	3.2	5.4
0.002-0.02 mm	6.8	7.3	9.5	0.4	0
0.02-0.05 mm	6.8	1.2	6.1	8.3	9.5
0.05-0.2 mm	2.4	3.3	1.3	1.4	4.5
0.2-2 mm	3.2	4.1	0	1.3	7.5
% PROMEDIO	4.98	4.32	5.14	9.92	5.4

(R1 -R2/promedio R1, R2, con R1 y R2 repeticiones)

### Referencias sobre el laboratorio I

En base a una muestra duplicada de suelo franco-limo-arcilloso (cuadro 4), se observa la estabilidad de los valores del pH, pero variaciones preocupantes en la granulometría, en particular la fracción limo (40%) y arcilla (15%), una diferencia de casi 40% para la materia orgánica y de 50% para la conductividad eléctrica.

Una evaluación de la determinación del fósforo asimilable ha sido realizada en base a resultados de muestras tomadas, luego de la cosecha, en los diferentes tratamientos de un ensayo de fertilización conducido en tres localidades, Patacamaya, Viacha y Belen (cuadro 5). Estos tratamientos se diferencian por la fertilización fosfatada (40P y 80P) y nitrogenada.

**Cuadro 4. Resultados de análisis de una muestra duplicada (A1, A2) y diferencias (A1 -A2/promedio A1, A2) (laboratorio I)**

DETERMINACIONES	A1	A2	A1-A2 (%)
Arena %	31	34	-8.8
Limo %	9	15	-40
Arcilla %	60	51	15
pH agua 1:5	6.87	6.82	0.7
pH KCl 1:2.5	5.15	5.35	-3.7
Al + acidez intercambiables meq.	0.17	0.13	23.5
M.O. (%)	0.72	0.44	38.9
C.E. (mmhos/cm)	0.032	0.016	50

En Patacamaya, las exportaciones de papa fueron bajas (300 kg/ha) y no significativamente distintas. Se constata una variación del contenido en fósforo del simple al doble entre E21 y E22 que recibieron el mismo aporte de 80 unidades de fósforo. En Viacha, se observa la misma variación entre E21 y E22, siendo las exportaciones de cebada no significativamente distintas entre ambos tratamientos.

**Cuadro 5. Determinación de fósforo asimilable para un ensayo experimental en muestras post-cosecha (laboratorio I)**

	TRATAMIENTOS				
	TESTIGO	E11 40P	E12 40P	E21 80P	E22 80P
PATACAMAYA (ppm)	11.00	10.32	10.66	35.66	16.16
VIACHA (ppm)	11.02	9.16	11.31	27.10	10.66
Ps aéreo cebada (kg/ha)	415	603*	429	462	452
BELEN (ppm)	46.07	13.18	35.66	36.24	37.41
Ps total papa (kg/ha)	161.2	161.5	159.8	154.7	164.7

Fuente: DIZES, J. (com. pers.) ORSTOM-SENAMHI

Ps: Peso seco

DNS: Diferencias no significativas

\*: Diferencia significativa

En Belen, la variación entre E11 y E12, que recibieron el mismo aporte de 40 unidades, está en una proporción de 1 a 3, cuando siguen no diferentes las exportaciones de papa. Se observa además que el testigo no se diferencia de los tratamientos en contenido de fósforo, ni en biomasa exportada. Estas cifras reflejan una variabilidad métrica del contenido de fósforo asimilable, después de la cosecha, no coherente con los aportes, ni con las exportaciones. Se sugiere entonces verificar la calidad de la determinación en laboratorio del fósforo asimilable.

## Referencias sobre el laboratorio II

En base a una muestra duplicada de suelo (cuadro 6), se observa que este laboratorio es bastante fiable en cuanto a granulometría y pH agua. Existen problemas serios de determinación del fósforo asimilable (variación de 66.7%), del potasio intercambiable (47.5%), y de la materia orgánica (25.9%). Las diferencias son más razonables para el nitrógeno total (11.8%) y la conductividad eléctrica (11.6%).

Las observaciones referidas a los laboratorios I y II son obviamente preliminares, por ser reducidas a una sola muestra duplicada en cada laboratorio.

**Cuadro 6. Resultados de análisis de una muestra duplicada (B1, B2) y diferencias (B1 -B2/promedio B1, B2) (laboratorio II)**

DETERMINACIONES	B1	B2	B1-B2 (%)
Arena	36	36	0
Limo	38	38	0
Arcilla	26	26	0
pH agua 1:2.5	8.2	8.2	0
M.O. (%)	2.25	3.04	25.9
C.E. (mmhos/cm)	0.220	0.249	11.6
N total (%)	0.105	0.119	11.8
P Olsen (ppm)	1.0	3.0	66.7
K (meq/100 g)	0.42	0.80	47.5

## VARIABILIDAD DE RESULTADOS ENTRE LABORATORIOS

Un control recomendado para los laboratorios de suelo consiste en comparar regularmente sus resultados con laboratorios de referencia (Plet, 1990). Obviamente no se pueden comparar resultados que no hayan sido obtenidos con el mismo método de análisis. Procedemos enseguida a varias comparaciones entre laboratorios.

### Comparación entre laboratorios con muestras del altiplano boliviano

Una parte de la variabilidad entre laboratorios proviene de la diferencia entre los métodos de investigación. **Un caso significativo es la determinación del pH:** agua ó KCL, con una dilución de 1:2.5 ó 1:5 (cuadro 7). En las mismas muestras, los valores de pH agua con la suspensión 1:5 no fueron más elevados que en la suspensión 1:2.5. La diferencia es a la inversa y muy variable. La diferencia entre pH agua y pH KCl es más estable, del mismo orden que el promedio calculado con los resultados de análisis presentados por Salm (1983a). Mc Lean (1986) estima variaciones de pH agua entre laboratorios (7 laboratorios, 40 suelos) a 0.39 unidades en promedio (0.1 a 0.7 unidades pH) para un pH comprendido entre 5 y 5.4. López (1983) señala diferencias mayores entre laboratorios bolivianos: 1 unidad en pH de 5.8 a 6.8 y 1-2 unidades en pH de 4.2 a 5.4.

Cuatro muestras de suelo han sido analizadas por los laboratorios de referencia A y B (cuadro 8). En regla general, las variaciones de granulometría [B - A] están en el mismo sentido y no pasan de 17%. Están entre 3 y 11% en las fracciones más finas (menos de 0.02 mm). La diferencia máxima se observa en cada clase de textura, para las muestras 2 y 3. La variabilidad del pH agua es inferior a 5%; la variabilidad del carbón orgánico, del nitrógeno total y de la materia orgánica va, según la muestra, de 0 a 18%. En promedio, la variabilidad no pasa de 11%.

**Cuadro 7. Comparación, en 3 muestras, de los valores de pH obtenidos con diferentes métodos de determinación**  
(diferencias expresadas en %)

	1	2	3
pH agua 1:2.5 (II)	7	6.8	7.2
pH agua 1:2.5 (I)	6.95	6.1	7.15
pH KCl 1:2.5 (I)	6.1	5.55	6.25
Diferencia pH agua 1:2.5/1:5 (%)	14.4	16.4	0.7
Diferencia agua/KCl 1:2.5	12.8	18.4	13.2

**Cuadro 8. Diferencias entre dos laboratorios (A, B) de los resultados del análisis de suelo de cuatro muestras**  
(B - A/promedio B, A expresado en %)

DETERMINACIONES	1	2	3	4	PROMEDIO
Arena gruesa (0.2-2 mm)	-5.45	-14.4	-3.7	0	5.9
Arena fina (0.05-0.2 mm)	4.4	6.2	3	14.9	7.1
Limo grueso (0.02-0.05 mm)	0	11.1	-0.7	-0.3	3
Limo fino (0.002-0.02 mm)	-9.6	-12.7	-16.7	-5.5	11.1
Arcilla (< 0.002 mm)	7.6	11.1	16.9	-7.3	10.7
pH agua	-5.7	-4.3	2.8	3.4	4
M.O. (%)	0	0	-15.5	6	5.4
C orgánico Anne (%)	0.9	13.5	-18.3	3.2	8.9
N total (%)	8	16.8	-2	4.9	7.9

Hemos analizado también cuatro muestras en dos laboratorios bolivianos (cuadro 9). Como en el cuadro 7, constatamos que las diferencias son mayores para texturas finas, limo y arcilla (30% en promedio), que para la arena (15%), y muy variables según las muestras y la clase textural. No están siempre en el mismo sentido. La variación es muy elevada y siempre en el mismo sentido para la materia orgánica (62.4%) y el fósforo asimilable (-65%), lo que nos llevaría a verificar los métodos y procedimientos utilizados. López (1983) indica variaciones evaluadas por el mismo ratio, de 51 a 66% en materia orgánica y 132% en fósforo

asimilable (20 a 98.5 ppm). Las diferencias de Nitrógeno total (35%) y K+ intercambiable (16.8%), aunque inferiores, quedan significativas. Para una misma muestra, López (1983) encontró variaciones de K intercambiable entre 0.17 y 0.35 meq/100 g de suelo.

**Cuadro 9. Diferencias entre dos laboratorios (I, II) de los resultados del análisis de suelo de cuatro muestras**  
(II - I/promedio II, I expresado en %)

	1	2	3	4
Arena %	-17.6	3.9	38.9	-1.4
Limo %	0	66.7	-9.5	-52.5
Arcilla %	10.5	-50	-27.8	21.4
M.O. (%)	72.5	57.3	61.5	59.4
C.E. (mmhos/cm)			15.7	12.9
N total (%)		49.1	-26	-30
P Asimilable (ppm)		-87.1	-53.9	-53.7
K (meq/100 g)		-22.2	-14.9	-13.2

Para confirmar estas observaciones, comparamos ambos laboratorios (I y II) con los laboratorios de referencia A y B, analizando en ellos dos muestras (cuadros 10 y 11). Las granulometrías determinadas en I y II son comparables a las obtenidas en Francia si se asume que la fracción arcilla corresponde a la de arcilla + limo fino (<0.02 mm), la fracción limo al intervalo 0.02-0.05 mm y la de arena a más de 0.05 mm. Tienden a sobrevalorar la fracción arcillosa y subevaluar la fracción arenosa (cuadro 10) o limosa (cuadro 11). El laboratorio II sobrevalúa la materia orgánica en un 65% (cuadro 11) en relación a los laboratorios de referencia y en un 42% en relación a I (cuadro 10). La variación entre ambos laboratorios supera lo que se encuentra entre laboratorios franceses. El laboratorio I sobrevalúa el nitrógeno total en un 52% y los cationes entre dos y cinco veces. El laboratorio II subevalúa el K intercambiable y sobre todo el P asimilable. Las determinaciones de pH agua no varían.

**Cuadro 10. Diferencias entre dos laboratorios franceses (I, II) y dos laboratorios bolivianos (A, B) de los resultados del análisis de dos muestras de suelo**

1.

DETERMINACIONES	I	II	B	A
Arena %	70	69	78.1	78.8
Limo %	8	3	7.9	8.6
Arcilla %	22	28	12.5	12.6
Textura USDA	FAY	FAY	FA	FA
pH agua 1:2.5		6.5	7.1	6.9
pH agua 1:5	7.8			
pH KCl	6.85			6.2
M.O. (%)	0.42	1.01	0.6	0.71
N total (%)	1.0	0.7	0.441	0.45
P Olsen (ppm)	9.51	4.4	22.0	
K Intercambiable (meq/100 g)	0.53	0.46	0.4	0.55
Ca	3.35		1.6	
Mg	3.27		1.1	
Na	1.09		0.2	
C.I.C.	8.24		3.3	

## 2.

DETERMINACIONES	B	A	II
Arena %	36.4	32.5	36
Limo %	41.75	49.2	38
Arcilla %	19.75	18.3	26
M.O. (%)	1.5	1.41	2.25
N total (%)	1.105	1.05	1.05
pH agua 1Ñ2.5	8.8	8.5	8.2
P Olsen (ppm)	29.48		1
K (meq/100g)	1.1	0.70	0.42

### Otras referencias de comparación entre laboratorios

Estos desfases son específicos de estos dos laboratorios. López (1983) calculó las variaciones intra e inter laboratorios con tres repeticiones de la misma muestra (anexo 1), concluyendo que las determinaciones de fósforo asimilable, potasio intercambiable, materia orgánica y conductividad eléctrica deben ser revisadas en algunos laboratorios.

Barber (1985) comparando, en seis muestras duplicadas, los resultados de análisis del laboratorio del CIAT a los del ODA (Inglaterra), observa que las determinaciones del fósforo Olsen del CIAT son inferiores en más del 50% a las del ODA (cuadro 11). La variabilidad del pH agua es comparable a la que encontramos (cuadros 10 y 11). La variación en la determinación de los cationes, menor a 20%, es muy inferior a la que aparece en el cuadro 10. Barber (1985) recomienda también corregir las determinaciones de conductividad eléctrica cuya variación (37.4%) es el doble de la observada en el cuadro 9.

### Cuadro 11. Diferencias entre dos laboratorios (ODA, CIAT) de resultados de análisis de 6 muestras de suelo en Santa Cruz

(Variabilidad ODA-CIAT expresado en %)

DETERMINACIONES	CHANE Maiz	YAPACANI Arroz	YAPACANI Bosque	M. de OCA Arroz	SAAVEDRA Arroz	MAIRANA Papa	VARIAB PROM. (O-C)
pH agua 1:5	-5	-1.6	-6.3	-1.6	-1.7	-4	3.4
C.E. (mmhos/cm)	23.5	42.8	41.6	-16.6	50	-50	37.4
C Orgánico (%)	-3.5	-6.9	0.15	16	21	-62	18.2
N total (%)	9	10	23.5	8.3	83.3	-33.3	27.9
P Olsen (ppm)	70	80	77	67	60	-50	67.3
K (meq/100 g)	12.5	16.7	12.5	20	33.3	-40	22.5
Ca	13.6	2.4	3	40.6	5.3	-20.8	14.3
Mg	10.5	9.1	-7.8	-2.9	0	-33.3	10.6
C.I.C. (meq/100 g)	-25.4	5.4	3.4	29.8	4	-33.8	16.9



## VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL

### Variabilidad métrica a decamétrica

*Entre lotes homogéneos de una parcela experimental*

Comparamos muestras de suelo tomadas de dos lotes de una parcela experimental, antes de aplicarle algún tratamiento (cuadro 12). La distancia entre las subparcelas es del mismo orden que la distancia entre los puntos de muestreo con barreno para obtener una muestra representativa. Las diferencias de resultados entre ambos muestreos, PD y PC, cualquiera sea el laboratorio de análisis, son muy inferiores a la variación interlaboratorio para las mismas muestras.

¿Cómo concluimos en estas condiciones? ¿Las muestras PD y PC dan resultados diferentes o no?

**Cuadro 12. Variabilidad decamétrica de los suelos franco arenosos de Patacamaya (PD-PC, 0-10 cm) comparada a la variabilidad entre laboratorios I y II**

DETERMINACIONES	VARIABILIDAD ENTRE MUESTREOS	VARIABILIDAD ENTRE LABORATORIOS		
	I PD-PC	II PD-PC	I-II(%) PD	I-II(%) PC
Arena	1.7	-2.8	-14.5	-18.3
Limo	-7.4	0	32	37
Arcilla	6.3	14.3	12.5	20
pH agua 1:2.5		-1.6		
pH agua 1:5	-3.9			
pH KCl	-2.2			
M.O. (%)	32.6	38	-62	-58.7
N total (%)	-10	5.1	34.4	44
P Olsen (ppm)	-62.6	0	-84.3	-58.1
K (meq/100 g)	4.1	0	17.8	14.3
C.E. (mmhos/cm)	4.3	-6.7		
	(1:5)	(1:2.5)		

Veamos ahora si podemos diferenciar las muestras con los laboratorios de referencia (cuadro 13). Cualquiera sea el laboratorio, se observa una variación de la granulometría, en el mismo sentido, entre las dos muestras, inferior para las clases extremas ( $> 0.2$  mm,  $< 0.002$  mm) y del mismo orden para las otras clases. La variación entre muestras no va en el mismo sentido para el nitrógeno, el carbono orgánico y el potasio, según el laboratorio. No se diferencia el contenido en materia orgánica ni en fósforo asimilable, pero si hay diferencias entre laboratorios. Las diferencias de resultados entre ambos muestreos PD y PC son del mismo orden, cualquiera sea el laboratorio de referencia, que la variación interlaboratorio para las mismas muestras. Siendo inferiores a 10%, podríamos concluir que las subparcelas son parecidas.

**Cuadro 13. Variabilidad decamétrica de suelos de Patacamaya (PD-PC, 10-20 cm) comparada a la variabilidad entre laboratorios franceses (B-A)**

DETERMINACIONES	VARIABILIDAD MUESTREOS	ENTRE	VARIABILIDAD LABORATORIOS	ENTRE
	B PD-PC	A PD-PC	B-A PD	B-A PC
0.2-2 mm	9.2	8.7	-13.9	-14.4
0.05-0.2 mm	-7.3	-11.8	10.7	6.2
0.02-0.05 mm	0	10.6	0	11.1
0.002-0.02 mm	7.1	3.8	-9.6	-12.7
< 0.002 mm	0	3.8	7.6	11.1
pH agua 1:2.5	-1.5	0	-5.7	-4.3
M.O.	0	5.5	8.3	13.3
P	0	0		
Nt	-0.4	9	8.1	16.9
C Orgánico	-6.9	6.2	0.9	13.5
K	-28.6	8		
C.I.C.	2.4	0	-4.6	-6.9

En la parcela de un agricultor en una aynua en descanso con cobertura de th'ola (cuadro 14), los resultados de tres puntos de sondeo demuestran que la variación del contenido de arena y limo es inferior a la variabilidad entre laboratorios. El pH agua es muy poco variable (5%). Las diferencias de evaluación de la materia orgánica son muy inferiores a la variabilidad intra e inter laboratorios, las diferencias de evaluación de nitrógeno total, del mismo orden. Las diferencias de fósforo son variadas y superiores a la variabilidad entre laboratorios. Se podría entonces poner en evidencia estas últimas.

**Cuadro 14. Variabilidad decamétrica de suelos en la parcela de un agricultor de Pumani (tres muestras puntuales a dos profundidades en el laboratorio II)**

DETERMINACIONES	1		2		3	
Arena	57.5	28	56	37.5	62	77
Limo	27.5	15	29	17.5	27	12
Arcilla	15	57	15	45	11	11
Textura	FA	Y	FA	Y	FA	FA
pH agua 1:2.5	5.9	5.8	6.1	5.9	5.8	5.9
M.O. (%)	1.47	1.6	1.79	1.47	0.41	1.03
N total (%)	0.077	0.084	0.069	0.087	0.08	0.059
P Olsen (ppm)	2	0.8	6.9	1.1	4.3	1.1
K (meq/100 g)	0.56	0.72	0.62	0.76	0.52	0.14

## Variabilidad decamétrica a hectométrica

Diferenciamos, en un sector en descanso, tres posiciones topográficas, pampa, ladera y cumbre. Se muestreó en estas tres situaciones a tres profundidades (cuadro 15). El tipo de suelo es el más extendido en el altiplano central: un horizonte relativamente superficial franco-arenoso sobre un horizonte franco-arcilloso, llamado greda. Se nota la estabilidad de la textura de cada horizonte; lo que varía es la profundidad del horizonte gredoso. No influye aparentemente sobre el pH y la materia orgánica. En este caso, para interpretar variabilidades decamétricas a hectométricas, se debe tomar en cuenta la profundidad del horizonte gredoso o cascajoso y la situación topográfica.

**Cuadro 15. Variabilidad hectométrica de suelos en una aynua de Pumani, según la posición topográfica (muestreo en tres profundidades)**

DETERMINACIONES	PAMPA			LADERA			CUMBRE		
Arena (%)	66	72	70	42	66	42	68	34	69
Limo (%)	23	17	18	19	21	13	21	19	20
Arcilla (%)	11	11	12	39	13	45	11	47	11
pH agua	5.2	5.7	6	6.1	6.1	5.9	6.6	6.3	6.5
M.O. (%)	0.71	0.9	0.97	1.22	0.33	0.78	0.77	0.65	0.58

## DISCUSION Y CONCLUSION

En base a varios resultados de análisis, propios y citados en trabajos publicados se ha intentado, en este trabajo preliminar, verificar, aparentemente, la fiabilidad de algunos laboratorios de suelo. Es una preocupación que, aparentemente, vuelve a la actualidad aproximadamente cada 6 años en Bolivia, según las fuentes consultadas.

Una primera necesidad es seguir uniformizando los métodos. El diagnóstico de los laboratorios de suelo efectuado en 1990 por la COTESU (Salm, 1990) constituye para ello un serio avance, en particular el anexo III referido a los métodos de análisis de suelo comunes a varios laboratorios.

Se recomienda no instalar nuevos laboratorios de suelo, sino mejorar la calidad de las determinaciones de los laboratorios actuales, en particular las de fracciones finas de granulometría, materia orgánica, fósforo asimilable y conductividad eléctrica. Ya en marzo de 1983, un seminario nacional sobre la comparación de los servicios que prestan los diferentes laboratorios de suelo, en Cochabamba, había llegado a las siguientes conclusiones: controlar la calibración para la determinación del fósforo, reducir las divergencias de resultados de conductividad eléctrica, uniformizar las metodologías de análisis de suelo.

Las variaciones de textura no son preocupantes si no hacen cambiar de clase de textura en el triángulo de interpretación. Las de materia orgánica

dependen de la determinación del carbono orgánico. Los métodos actuales de determinación del fósforo asimilable son inadecuados si se trata de comparar parcelas con un pasado diferente o situadas en contextos físico-químico diferentes (Plet, 1990). El mismo autor señala que, en la mayoría de los casos, el nitrógeno total no permite diferenciar los suelos agrícolas. Hemos visto también que las diferencias entre muestras a la escala decamétrica pueden ser inferiores a las diferencias intra e interlaboratorios. Estas consideraciones son muy importantes para realizar balances de fertilidad. Diferencias importantes en la determinación del fósforo asimilable y del nitrógeno mineralizable tienen repercusiones directas sobre las recomendaciones de fertilización mineral que se deducen de estos análisis.

Recomendamos finalmente que se reúnan los responsables de los diferentes laboratorios de análisis de suelo para homogeneizar procedimientos o por lo menos definir factores de conversión entre procedimientos (Welch & Wiese, 1973) y que esta coordinación se vuelva permanente y no cada 10 años, durante algún seminario, como se ha practicado hasta ahora. Para ello, un mecanismo podría ser la obligación de habilitar los laboratorios existentes o nuevos a nivel nacional, con la condición de mandar regularmente muestras patrones para su análisis en laboratorios de referencia; este costo adicional podría ser financiado con apoyo externo dentro del marco de una red nacional de laboratorios de suelo.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ASHBURNER J. & SIMS B., 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José, Costa Rica, IICA, Serie Libros y mat. educ. n° 56, 474 p.
- BAIZE D., 1988. Guide des analyses courantes en pédologie. Paris, INRA, 172 p.
- BABER R.G. & DIAZ O., 1985. Datos preliminares de heterogeneidad física de suelos y su implicación en el número de muestreos. Santa Cruz, Bolivia. Informe CIAT, No 37, 9p.
- BARBER R.G., 1985. Una comparación de los análisis de seis suelos en textura y química de suelos, efectuada por el laboratorio de suelos del CIAT de Santa Cruz, con los de la unidad de análisis de suelos tropicales de ODA, Inglaterra. Santa Cruz, Bolivia, CIAT, 6 p.
- BOIFFIN J. & MONNIER G., 1989. Estados, propiedades y comportamiento de los suelos: búsqueda y utilización de los criterios de fertilidad física. Lima, UNALM-ORSTOM, Boletín Sistemas Agrarios 11: 7-18.
- GAVANDE S., 1986. Física de suelos; principios y aplicaciones. México, edit. Limusa, 351 p.
- HENIN S., GRAS R. & MONNIER G., 1972. El perfil cultural. Madrid, ed. Mundi-Prensa, 342 p.
- HENIN S., 1976. Cours de physique du sol, tomo I. Paris, ORSTOM-EDITEST, 159 p.

- KEMPTHORNE O. & ALLMARAS R.R., 1986. Errors and variability of observations. In *Methods of Soil Analysis, part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Madison, USA, Agronomy Monograph No. 9, 1-31.
- KITCHEN N.R., SHERROD L.A., WOOD C.W., PETERSON G.A. & WESTFALL D.G., 1990. Nitrogen contamination of soils from sampling bags. *Agron. J.* 82, 2, 354-356.
- Mc LEAN, 1986. Testing soils for pH and Lime Requirement. *Soil testing and plant analysis part 1*, Soil Sci. Soc. Amer., Madison, USA, 77-96.
- LOPEZ, 1983. Comparación de los servicios que prestan los diferentes laboratorios de suelo. *Seminario Nacional de Laboratorios de Suelo*, 22-23 de marzo 1983, Cochabamba, Bolivia, 21 p.
- PLET P., 1990. Analyse des sols cultivés. *Techniques Agricoles* 1300 (6), 17 p.
- PECK T.R. & MELSTED S.W., 1973. Field Sampling for soil testing. In *soil testing and plant analysis*, Walsh and Beatun eds, Soil Sci. Soc. Amer, Madison, USA.
- PETERSON R.G. & CALVIN L.D., 1986. Sampling In *Methods of Soil Analysis, part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Madison, USA, Agronomy Monograph No. 9, 33-51.
- SALM H., 1983a. Estudio preliminar de suelos del altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* n° 4: 43-57.
- SALM H., 1983b. La mineralización del nitrógeno en suelos del altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* n°4: 59-72.
- SALM H., 1990. Diagnóstico de laboratorios de suelos de Bolivia. La Paz, Informe COTESU, 51p.
- VILLAROEL J., 1988. Manual práctico para la interpretación dde análisis de suelo en laboratorio. Cochabamba, Bolivia, UMSS-AGRUCO, serie técnica n°10, 34 p.
- WELCH C.D. & WIESE R.A., 1973. Oportunities to improve soil testing programs. In *Soil testing and Plant analysis*, Walsh and Beatun eds., Soil Sci Soc. Amer., Madison, USA.
- WESTFALL D.G., HENSON M.A. & EVANS E.P., 1978. The effect of soil sample handling between collection and drying on nitrate concentration. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9: 169 -185.

## ANEXO 1

### PRECAUCIONES EN LA TOMA DE MUESTRAS

Plet (1990) recomienda tomar 16 muestras elementales para 100 a 200 m<sup>2</sup> de área homogénea dentro de la parcela considerada y López (1983) recomienda 20 muestras en 400 m<sup>2</sup>. De la mezcla se extrae la muestra a llevar al laboratorio (max. 500 g por muestra). El número de muestras elementales depende en todo caso del grado de variación del parámetro estudiado y de la precisión esperada. Es más conveniente identificar gradientes de variación (pendiente, color, drenaje, orientación del trabajo del suelo) de subparcelas homogéneas y muestrear a lo largo de estos gradientes, antes de aplicar una tasa de muestreo sistemática, en función de la superficie de la parcela (Petersen & Calvin, 1986). El muestreo se hace al azar, en un círculo de 6 a 8 m de radio o en zigzag. Se debe precisar la profundidad de muestreo y respetarla en cada muestra elemental.

La muestra debe estar secada al aire libre inmediatamente después de su recolección. El guardar una muestra húmeda provoca una evolución de las materias orgánicas, modificaciones del contenido de nitrógeno (Westfall *et al.*, 1978) y el desarrollo de hongos. Mejor es no almacenar mucho tiempo las muestras, secarlas inmediatamente o analizarlas rápidamente (Kitchen *et al.*, 1990). El envase de plástico usado para la muestra puede influir en el contenido de nitrógeno, NH<sub>4</sub>-N y NO<sub>3</sub>-N, si este contiene "wax laminated glassine liner" (Kitchen *et al.*, 1990), lo que no ocurre con envases de polietileno.

Para obtener muestras duplicadas, se procedió en este trabajo con la homogeneización manual de las muestras, luego de eliminar las piedras y cascajo, y el llenado de las bolsas en igual proporción. Esta separación se puede mejorar con un separador de muestra (en aluminio), de fabricación sencilla, que permite separar una muestra tamizada en dos volúmenes equivalentes y representativos (fig. 1).

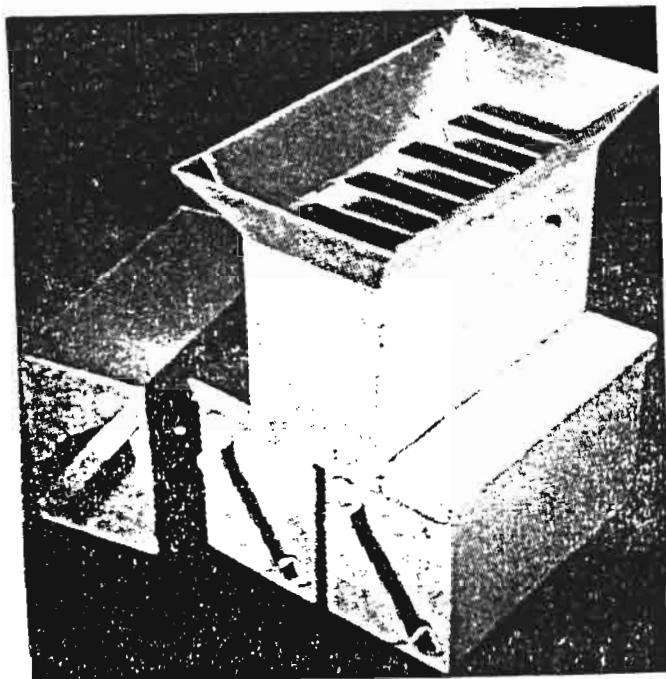


Figura 1. Separador de muestras de aluminio

**ANEXO 2**  
**COMPARACION INTRA E INTER LABORATORIOS DE RESULTADOS**  
**DEL ANALISIS DE TRES REPETICIONES**  
**DE LA MISMA MUESTRA DE SUELO**  
(López, 1983)

**A. GRANULOMETRIA**

	ARENA			***	LIMO			***	ARCILLA			***
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
CIAT	18	21	23	24	50	50	47	6	32	29	30	10
S. BENITO	28	28	28	0	51	50	47	4	21	22	23	9
UMMS - FCAP	26	29	24	19	45	51	49	12	29	23	25	23
CORDECH	32	13	34	80	48	67	44	43	20	20	26	27
AGROCONSULT	34	28	28	20	42	48	46	13	24	24	26	8
CORGEPAI	32	30	30	7	49	50	50	2	18	20	20	10
MACA (SUCRE)	34	14	34	73	46	64	44	39	20	22	22	9

\*\*\* = INTRALABORATORIO  $(M - m) / x = (\%)$

**B. MATERIA ORGANICA (%)**

LABORATORIO	1	2	3	INTERLAB. (M - m) / x (%)
INSTITUTO ECOLOGIA	2.57	2.59	2.41	7
CIAT	2.20	2.20	2.20	0
SAN BENITO	2.00	1.90	2.10	10
CORDECH	2.52	2.58	2.52	2
CORGEPAI	1.95	1.90	1.87	4
MACA (SUCRE)	2.26	2.58	2.45	13
INTERLAB. (M - m) / x (%)	27	30	29	29

**C. pH EN AGUA 1:2.5**

LABORATORIO	1	2	3	INTERLAB. (M - m) / x (%)
SAN BENITO	6.2	6.4	6.4	3
UMSS - FCAP	6.7	6.6	6.3	6
CORDECH	5.8	5.8	5.8	0
MACA (SUCRE)	5.8	5.8	5.8	0
INTERLAB. (M - m) / x (%)	15	13	10	13

**ANEXO 2**  
**COMPARACION INTRA E INTER LABORATORIOS DE RESULTADOS**  
**DEL ANALISIS DE TRES REPETICIONES**  
**DE LA MISMA MUESTRA DE SUELO**  
(López, 1983)

**D. P OLSEN MODIFICADO (ppm)**

LABORATORIO	1	2	3	INTRALAB (M-m)/x (%)
CIAT	20	21	22	9
SAN BENITO	98	96	96	2
UMSS-FCAP	65	62	81	27
CORDECH	28	43	34	43
INTERLAB. (M-m)/x (%)	148	135	127	137

**E. K meq/100 g DE SUELO (Acetato de amonio)**

LABORATORIO	1	2	3	INTRALAB (M-m)/x (%)
CIAT	0.21	0.21	0.20	5
SAN BENITO	0.18	0.17	0.18	6
UMSS-FCAP	0.30	0.30	0.30	0
CORDECH	0.34	0.35	0.34	3
MACA (SUCRE)	0.30	0.35	0.38	23
INTERLAB. (M-m)/x (%)	59	64	71	65

**F. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA mmhos/cm (Fuente de wheastone 1:2.5)**

LABORATORIO	1	2	3	INTRALAB (M-m)/x (%)
SAN BENITO	0.075	0.075	0.075	0
UMSS-FCAP	0.110	0.110	0.107	3
CORDECH	0.270	0.305	0.235	26
INTERLAB. (M-m)/x (%)	128	141	115	128



## PEDREGOSIDAD DEL SUELO

Dominique HERVE, David RAMOS<sup>1</sup>

El contenido en piedras de los suelos muy a menudo no se toma en cuenta para la interpretación de los análisis de laboratorio. Pero el suelo *in situ*, en particular en la sierra andina, puede contener una fracción superior a 2 mm que influye en sus propiedades físicas, químicas, en la circulación del agua, la difusión del calor y el estado superficial del suelo. En esta nota, traducimos algunos extractos de la obra de Gras ("Sols caillouteux et production végétale", Raymond Gras, INRA, 1994) para ilustrar, con muestras tomadas de la comunidad de Pumani (altiplano central boliviano), algunas implicaciones del contenido en piedras del suelo.

### Muestreo y caracterización de la fracción gruesa

Los suelos pedregosos deben recibir un tratamiento especial, desde el muestreo. Se debe ajustar la cantidad de tierra a muestrear en función del tamaño de piedras existentes en el suelo:

Diámetro de piedras (cm)	2	3	4	5	6	7
Masa de suelo a muestrear (kg)	0.8	2.7	6.4	12.5	21.6	34.8

Una vez separada la fracción superior a 2 mm, en la muestra secada al aire, se procede a lavar este material grueso con el fin que no contenga restos de tierra fina y se vuelve a secar al aire. El porcentaje de fracción gruesa, conocido con una precisión del 10%, se deduce de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FG} = \frac{\text{peso rechazado en le tamiz de 2mm} - \text{peso tierra fina adherida} \times 100}{\text{peso tierra bruta secada al aire}}$$

Luego se separa en tres clases: Mc1, Mc2, Mc3 con tamices de 0.5 cm y de 2 cm.

Mc1 0.2 - 0.5 cm Gravilla

Mc2 0.5 - 2.0 cm Cascajo, guijo pequeño

$$Mc = Mc1 + Mc2 + Mc3$$

Mc3 2.0 - 20 cm Guijo  
> 20 cm Bloques

Varios índices se pueden calcular:

$$\frac{M_{tf}}{Mc + M_{tf}} = \% \text{ tf en la muestra}$$

$$\frac{Mc}{Mc + M_{tf}} = C_m (\% \text{ piedras en la muestra})$$

Se puede aceptar una precisión relativa sobre el tenor másico en piedras del orden de 20%.

(1) Ing. Agr. IBTA-Sistemas de Producción, casilla 5783, fax: 793517

$$\frac{Cm, Mvt}{Cm.(Mvt - Mvc) + Mvc} = Cv \quad (\text{tenor volúmico en piedras})$$

Donde: Mtf = Masa tierra fina

Mvt = Masa volumica aparente de la tierra fina

Mvc = Masa volúmica aparente de los elementos gruesos

Cm = Tenor masico en piedras.

Por una cantidad dada de cascajo, el tenor volúmico tiene un valor inferior al tenor masico. Las masas de tierra fina (Mpt) y de cascajo seco (Mpc), presentes en la unidad de volumen del suelo *in situ*, se calculan a partir de las masas volúmicas aparente y del tenor volúmico en cascajo.

$$Mpt = Mvt (1 - Cv) \text{ para la tierra fina, } Mpc = Mvc \cdot Cv$$

Se presentan tres criterios de descripción del material grueso.

. El tipo de roca: material geológico, reacción al ácido clorhídrico, dureza: rayable con la uña o el cuchillo, color, porosidad. Es fundamental hacer la distinción entre piedras porosas y no porosas. Un guijo es poroso si una gota de agua, puesta encima del guijo no saturado y bien limpiado, desaparece.

. La forma de las piedras: esférica - alargada - aplanada - redonda - angulosa - irregular.

. El tamaño de las piedras: diametro; largo, ancho y espesor si predominan los fragmentos aplanados.

Se puede ignorar el cascajo cuando el tenor volúmico en piedras (Cv) no sobrepasa el 5 % ; el tenor masico correspondiente es 10% para piedras no porosas e inferior a esta cantidad para piedras porosas. Otro criterio de evaluación es la distancia entre los centros de gravedad de las piedras; esta distancia no debe ser inferior a 2 o 3 veces su diámetro. Si el tenor volúmico en piedras es inferior a 15 % y el tamaño de las piedras inferior a 2 cm, todavía se puede muestrear para la densidad aparente con un tubo de forma cilíndrica ó hacer uso de una sonda para la medición directa. Si las piedras tienen un diámetro de 2 a 6 cm, se recomienda el método del densitometro de membrana en caso de pocas piedras o del hoyo de forma irregular en caso de muchas piedras. Este último consiste en medir del volumen de agua o de arena fina correspondiente al volumen del hoyo. Si el tamaño de las piedras es superior a 6 cm, conviene limitarse a evaluaciones visuales.

#### Masa volúmica o densidad aparente

Si la piedra no es porosa, el volumen aparente es idéntico al volumen real y la masa volúmica aparente (densidad aparente) es idéntica a la masa volúmica real (densidad real). El volumen aparente es medido con el desplazamiento de un líquido. La piedra no porosa esta sumergida en una probeta graduada con agua. La diferencia de lectura entre los dos niveles del líquido antes y después de la inmersión indica el volumen del elemento.

Si la piedra es porosa, el volumen real esta medido en la muestra del cascajo finamente mullido, para no contabilizar el volumen de los poros tapados que pudieran existir. Una forma de medir el volumen aparente, en estas piedras y cascajos porosos, es por desplazamiento de un líquido (agua).

Previamente, se tiene que pintar el cascajo con una película a base de resina y tapar así la porosidad existente en el cascajo durante la medida.

La densidad aparente de la tierra fina puede variar según el contenido en piedras. Si se admite que la densidad aparente o masa volúmica de la tierra fina tiene un valor promedio de  $1.3 \text{ kg/dm}^3$ , de las piedras porosas de  $2.2 \text{ kg/dm}^3$  y de las piedras no porosas de  $2.7 \text{ kg/dm}^3$ , se calcula que la densidad de tierra fina difiere de la masa volúmica aparente cuando el tenor másico en piedras supera 9.8% en el caso de piedra no porosa y 8.1% en el caso de piedra porosa.

No se conoce relaciones establecidas entre la presencia de piedras y la masa volúmica aparente de la tierra fina. Un tenor alto en elementos gruesos tendría a bajar la masa volúmica aparente de la tierra fina. Las referencias citadas por Gras (1995) dan resultados contradictorios. Flint & Childs (1984) han medido una masa volúmica aparente de la tierra fina de 0.97 y  $1.04 \text{ kg/dm}^3$  para tenores másicos de piedras (Cm) de 20%. Con 20% de contenido en piedras, la densidad aparente de tierra fina es inferior a 1 para un suelo arcilloso-calcáreo y cerca a 1 para suelos medianos en materia orgánica. Ruso (1983) obtiene una densidad aparente de  $1.20 \text{ kg/dm}^3$  para tenores másicos en cascajo de 56 a 70% y Mehuys et al. (1973) logra densidades aparentes de 1.5 y  $1.68 \text{ kg/dm}^3$  para tenores másicos de 27% y 33% respectivamente.

### Comportamiento al agua

La capacidad de reserva de agua en un suelo no cascajoso es:

$$W (\text{mm}) = Mvt \cdot E \cdot (Cct - PMPt)$$

Donde:  $Mvt$  = Masa volumica aparente de la tierra fina.  
 $Cct$  = Capacidad de campo en % de la tierra seca.  
 $PMPt$  = Punto de marchitez permanente en % de la tierra seca.  
 $E$  = Profundidad del suelo sin cascajo.

En caso de presencia de piedras, la masa volumica aparente de tierra fina esta reemplazada por la masa volumica aparente parcial de tierra fina:  $Mvpt$ .

$$W (\text{mm}) = E [Mvpt (Cct - PMPt) + Mvpc (Hcc - Hpmp)]$$

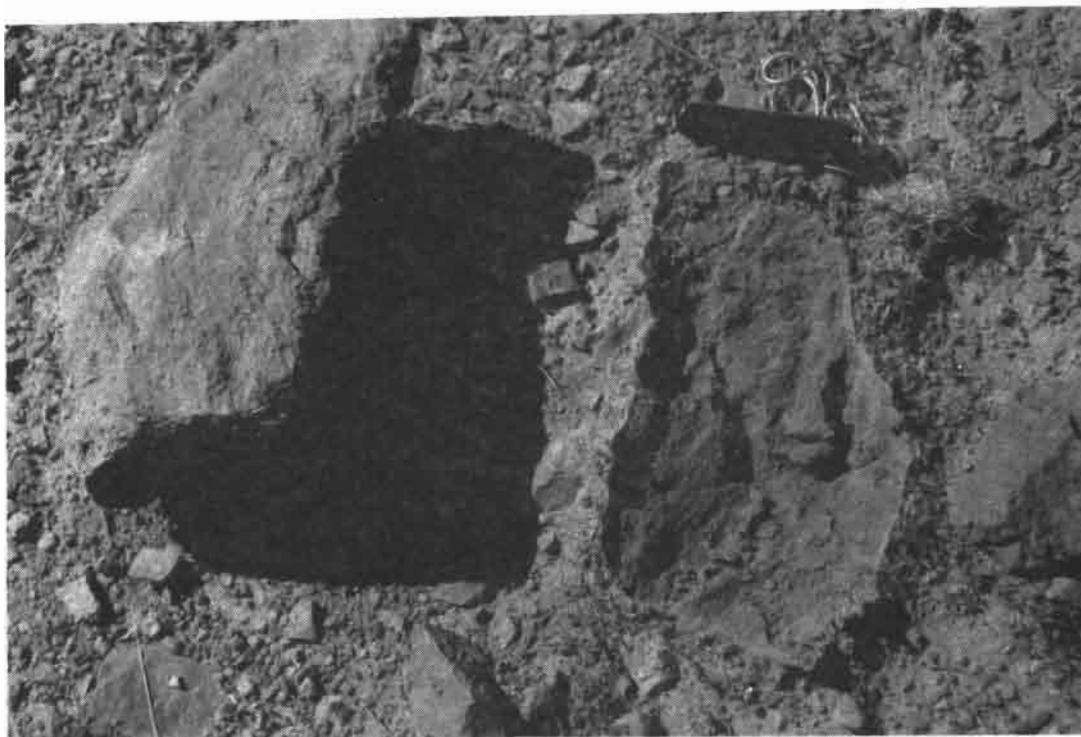
Donde:  $Mvpt$  = Masa volumica parcial de la tierra fina.  
 $Mvpc$  = Masa volumica parcial de los elementos gruesos.  
 $Hcc$  = Humedad másica de piedras a la capacidad de campo de la tierra fina.  
 $Hpmp$  = Humedad másica de piedras al punto de marchitez permanente de la tierra fina.

Los elementos gruesos provocan una disminución de la capacidad de reserva proporcional a su tenor volumico. Pero la porosidad al agua de un suelo muy cascajoso es siempre más alta que la de un suelo poco cascajoso; la diferencia es de 5% del volumen total.

La presencia de piedras en la superficie del suelo dispersa la energía cinética de las gotas de lluvia, reduciendo de esta forma el apelmazamiento, y modifica las posibilidades de infiltración. Sacar las piedras tiende a disminuir la velocidad de infiltración. La tasa de infiltración esta relacionada con el perimetro de las piedras libres más que con el área debajo de estas piedras por que la

infiltración ocurre a lo largo de este perímetro (Valentin & Casenave, 1992). Cuando los fragmentos de tamaño grande predominan, la infiltración decrece con la cobertura del suelo, sobretodo cuando las piedras son insertadas en la costra superficial. Al contrario, la infiltración aumenta con la cobertura, cuando son fragmentos de tamaño reducido que cubren la superficie del suelo. Debajo de las piedras insertas en la costra superficial, se puede encontrar una vida biológica intensa (foto 1). Pero esta porosidad no aumenta la infiltración del agua. Se ve con este ejemplo la importancia de distinguir las piedras colocadas sobre la superficie del suelo de las piedras insertadas en la costra. Estas últimas se reconocen a la vez por un depósito de película vesicular que adhiere a la piedra alrededor de su perímetro.

Foto 1. Galerías de hormigas debajo de las piedras insertadas en la costra superficial (*Fotos D. HERVE*)



### Comportamiento físico

La estabilidad estructural no está modificada por la presencia de piedras. Las discontinuidades resultantes de las piedras pueden aumentar la fisuración de tierras arcillosas y reducir su cohesión. Pero algunos horizontes profundos, muy cascajosos, son también muy duros y mal colonizados por las raíces, sin que haya una explicación a ello. La tierra fina es menos compactada por la presencia de piedras (hasta el 50% del volumen). Encima de 50%, las piedras constituyen una red continua soportando sola las presiones aplicadas.

La conductividad térmica mide el flujo de calor que traspasa un volumen elemental de suelo para elevar su temperatura. El calentamiento del suelo depende de su capacidad calorífica, producto del volumen por el calor específico. Un suelo resulta más sensible a las variaciones de temperatura cuando su conductividad térmica es más elevada y su calor específico es más bajo. El calor específico de un suelo cascajoso se calcula por el promedio ponderado de los calores

específicos de las piedras y de la tierra fina. Crece con el tenor en cascajo, pero mucho más rápidamente cuando el suelo es húmedo.

En época seca, el aumento de calor específico debido a las piedras es directamente vinculado a su masa volúmica aparente. Tienen un efecto también las piedras situadas sobre la superficie del suelo, según su color y entonces su capacidad de reflejar los rayos solares.

### **Incidencia en los cultivos**

El contenido de piedras en la superficie del suelo o dentro de la capa arable influye en casi todas las operaciones de trabajo del suelo: desgaste de las herramientas, irregularidad de la profundidad de roturación, fabricación de la cama de siembra, profundidad de siembra. Así, las plantulas de las especies cultivadas no prosperan cuando la semilla está tapada por una piedra de 5 a 7 cm de diámetro.

Según Ashby *et al.* (1984), citado por Gras (1994), el volumen de tierra fina explorado por las raíces no está reducido por la presencia de elementos gruesos. Las raíces pueden ser más numerosas donde los elementos gruesos son numerosos, desarrollándose sobre el contacto piedra-tierra fina.

Debido a la dilución de la tierra fina en un volumen mayor del suelo, se tiene una disminución de la cantidad de elementos nutritivos disponible por unidad de superficie de la parcela, salvo que los cascajos provean elementos básicos. El tenor en cascajo tiene, por la misma razón, influencia sobre el balance orgánico. Obviar estos efectos, es postular la estabilidad de la profundidad del suelo colonizado por las raíces y de la masa volúmica aparente de tierra fina.

Para un elemento nutritivo presente en la tierra fina con un tenor  $t$  (%), la cantidad disponible en ausencia de piedras, en el monolito de superficie  $S$  y de profundidad  $E$  es  $t/100 \cdot Mt \cdot SE$ . Con piedras, la cantidad disponible es  $t/100 \cdot Mt \cdot SE \cdot (1 - Cv)$ . En caso de piedras no porosas, la cantidad de agua en el suelo es también reducida en una proporción de  $1 - Cv$ .

Algunas piedras liberan minerales por alteración pero las raicillas pueden también absorber directamente elementos, en contacto con algunas piedras. Es el caso del potasio, extraído de las micas (proceso de vermiculización).

### **Ejemplo de caracterización de la pedregosidad**

Se evaluó 31 muestras de suelo de la comunidad de Pumani perteneciendo al altiplano central boliviano (provincia de Aroma), con un porcentaje ponderal de piedras superior al 10%. Todas las muestras tenían un contenido menor de guijos y piedras mayores a 2 cm. Presentaban en general 2 hasta 4 tipos de roca. Se les clasificó entonces según los tipos de piedra dominantes (cuadro 1).

La mayoría de las piedras son piedras de color negro, amorfas (lava negra), no porosas y lutitas, de color café o marrón con estratos planos no porosos. Una sola muestra pertenece al tipo de roca cuarcitas. La mayoría de las muestras presentan piedras y guijos de forma irregular y de borde angular. Se tuvo entonces que medir dos dimensiones, el diámetro mayor y el diámetro menor. El

diámetro menor mínimo fue de 6.52 mm y promedio de 17 mm. El diámetro mayor promedio fue de 27 mm y máximo de 50.35 mm.

Con dos excepciones, Q7 y XT93, las otras muestras tienen una masa volúmica de piedras promedia de 2.61 gr/cc., que varía entre 2.39 y 2.76 gr/cc.

**Cuadro 1. Evaluación de la pedregosidad en Pumani (Altiplano central boliviano)**

CODIGO	% GRAVA > 2mm	TIP ROC Ln/l/c/a	FORMA > 2 cm	DIMENSIÓN EN (mm)	COLOR	DUREZA u/c/n	REACC ACIDO	PESO gr	VOLUMEN cc	DEN APA gr/cc
Q1	19.55	l	An-A-l	23/48	m	n	no	62.77	24.5	2.562
Q2	18.37	l	An-A-l	22.62/50.35	m	c	no	68.77	27	2.547
Q3	11.75	l	An-l	13.12/28.32	m	n	no	40.3	16	2.519
Q5	13	Ln-l	An-A-l	13.22/28.1	m	n	no	63.49	24	2.645
Q6	13.48	Ln-l	An-A-l	22.22/23.58	m	n	no	61.94	23	2.693
Q7	12.79	Ln-l	An-A-l	23.08/31.64	m-n	c	no	75.92	19.3	3.934
Q8	12.85	l	-	-	m	n	no	51.24	19.9	2.575
Q9	9.9	l	An-A-l	10.3/24.62	m	c	no	56.15	21.5	2.612
Q10	11.28	l	An-A-l	9.5/22.86	m-b	n	no	46.46	18	2.581
Q11	23.27	l-Ln	-	-	m	c	no	60.78	23	2.643
Q12	20.74	l	An-A-l	9.74/28.62	m-n	n	no	65.44	25	2.618
Q13	13.41	Ln-l	-	-	m	n	no	-	-	-
Q15	11.8	l	An-A-l	28.22/10	m	c	no	54.25	20	2.712
Q17	14.17	Ln-l	An-A-l	6.52/32.38	m	n	no	59.33	23	2.58
Q18	10.14	c	An-A-l	19.42/33.42	b	n	no	34.88	12.8	2.725
Q19	17.67	l	An-A-l	13.22/30.18	m-b	n	no	63.7	24.2	2.632
Q20	17.12	l	E-An-l	20.52/33.32	m	n	no	47.09	18.1	2.602
JVC2	26.94	Ln-l	An-A-l	15.92/28.03	m	n	no	66.96	26	2.575
LCQ2	13.62	l	An-A-l	15.32/36.28	m	n	no	59.24	22.5	2.633
LCQ3	28.68	Ln-a	-	-	m	n	no	47.59	18.3	2.6
LCQ4	22.36	Ln-l	-	-	m	n	no	46.13	18	2.563
JVa-93	-	Ln-l	An-A-l	20/27.5	m	n	no	78.79	32.9	2.395
HQA1	31.9	Ln-l	An-A-l	6/28.1	m	n	no	67.59	26	2.6
AMT-93	41.8	Ln-l	An-A-l	11/33.9	m	n	no	79.3	31	2.558
ROA2	29.5	Ln-l	-	-	m	n	no	39.9	15.5	2.58
HQA2	12	Ln-l	-	-	n	n	no	38.48	14	2.748
ROA1	12.9	Ln-l	An-l	22.3/31.2	m	n	no	60.85	22	2.766
ECT1	16.4	Ln-l	An-l	22.1/31.2	m	c	no	57.85	22	2.629
XT-93	12.2	Ln-l	-	-	m-b	n	no	53.46	31	1.724
SAT1	10.4	Ln-l	-	-	m	n	no	49	19	2.579
JCT1	10.5	Ln-l	-	-	m	n	no	39.64	15	2.643

**TIPO DE ROCA**

Ln = Lava negra  
l = lutitas  
c = cuarcitas  
a = areniscas

**COLOR**

m = marron  
n = negro  
b = blanquecino

**FORMA**

An = angular  
A = alargado  
l = irregular

**DUREZA**

u = una  
c = cuchillo  
n = ninguno

**Citación bibliográfica**

Valentin (C.), Casenave (A.), 1992. Infiltration into sealed soils as influenced by gravel cover. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1667-1673.

***PEDREGOSIDAD Y ESTADO SUPERFICIAL***  
***Comunidad de Pumani*** (Fotos D. HERVE)





# DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE LA SUPERFICIE DEL SUELO\*

David RAMOS<sup>1</sup>  
Dominique HERVE<sup>1</sup>

## INTRODUCCION

La estabilidad estructural caracteriza la capacidad de la superficie del suelo a resistir la degradación por efecto del agua de lluvia. La destrucción de la estructura conlleva al aumento de partículas sueltas susceptibles de ser desplazadas por el agua o el viento.

Las relaciones entre la estructura y la estabilidad estructural, en la parte superficial del suelo, son dependientes de:

- el clima, principalmente la lluvia,
- el tiempo entre la última acción sobre la estructura (trabajo del suelo) y la observación,
- el grado de protección del suelo.

Por lo tanto, la estabilidad estructural esta directamente referida a lo que ocurre en la superficie del suelo.

Supongamos una caída de lluvia, el comportamiento del suelo dependerá en gran medida de la intensidad de lluvia y la energía de caída de las gotas. Así, una gota de 1 mm de diámetro cae a una velocidad de 4 m/s, generalmente de baja intensidad sin ocasionar efectos en la superficie del suelo. Una gota de 5 mm de diámetro cae a 9 m/s, lo que corresponde a precipitaciones altas produciendo efectos notables en la superficie del suelo. Estas hacen estallar los agregados, arrastrando con ello partículas de tierra que se desplazan a varios centímetros, formando charcos lodosos en varios lugares que van sedimentándose. Cuando estos se juntan, se inicia un proceso de escurrimiento que es el origen de los fenómenos erosivos (Henin *et al.*, 1972; Suarez, 1979).

La estabilidad estructural depende de varios factores, especialmente del contenido de materia orgánica, de la proporción arcilla/limo y de la presencia o no de agentes floculantes como el  $\text{Ca}^{++}$  y/o el  $\text{Fe}^{+++}$ .

Una forma de evaluar la estabilidad estructural es medir en laboratorio la resistencia de los agregados a la acción degradante del agua, mediante tests que

---

\* Este texto ha sido elaborado, en base a la versión editada en castellano en 1972 del "Profil cultural" (Henin *et al.*, 1958) y a varios textos de referencia, citados en bibliografía. Varios ajustes resultan de su empleo con muestras del altiplano central boliviano.

Agradecemos la colaboración de M. Delaune (Laboratorio de Formaciones Superficiales de ORSTOM, Bondy, Francia 15/03/95), por facilitarnos la metodología de uso de la pipeta de Robinson; el envío de referencias valiosas sobre el uso del método, por C. Jeandet (INRA, estación ciencia del suelo, Montfavet, Francia) e Y. Le Bissonnais (INRA, Orléans, Francia). El agitador Féodoroff ha sido gentilmente donado al IBTA (estación experimental de Patacamaya) por la estación de Investigación de INRA-Laon y la pipeta de Robinson ha sido donada por el laboratorio del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT, Santa Cruz). Sin esta colaboración, no se hubiese realizado la aplicación del método en las condiciones del Altiplano.

<sup>1</sup> IBTA-ORSTOM, Convenio "Dinámicas de los sistemas de producción en el altiplano boliviano".



pongan en evidencia diferentes aspectos de la degradación. La metodología que presentamos en este manual es la propuesta por Henin *et al.* (1958, 1972), que corresponde al **análisis de agregados "Inestabilidad Estructural (Is)"** y al **método de percolación "Coeficiente de Permeabilidad (K)"**.

Las muestras destinadas para la evaluación de la estabilidad estructural deben ser colectadas con ciertas precauciones:

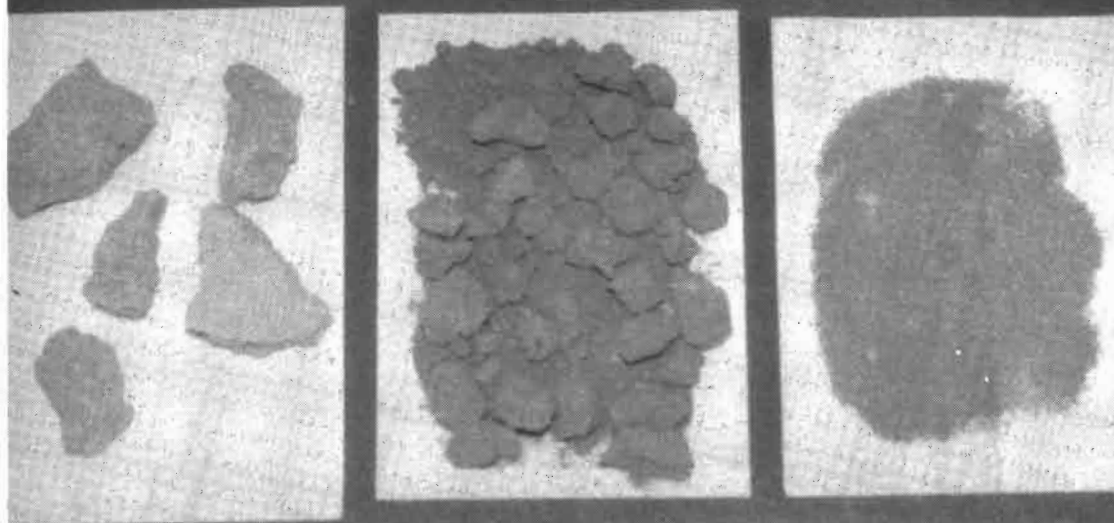
- Con ayuda de una espátula de albañil, se recogen muestras en diferentes sitios de la parcela (10 como mínimo), superficialmente a 0-3 ó 0-10 cm, según la variabilidad de formación de costras superficiales (capas ó microhorizontes). Se trata de no destruir los terrones que pueden ser colectados de la superficie misma y de recolectar las muestras en un estado húmedo o mojado para evitar el apelmazamiento.
- Introducir los terrones en un recipiente con tapa, para que estos no se aplasten, y taparlo herméticamente. Se llenará hasta el tope de los recipientes para que no exista movimientos ni golpeteos. Estos recipientes pueden tener una capacidad de 500 g .
- Una vez llegado al laboratorio, esparcir con mucho cuidado las muestras sobre un papel periódico, formando una capa delgada (foto 1).
- Dejar secar al aire, en un lugar ventilado protegido de la luz, durante un semana, o en un horno regulado a 40°C durante 48 horas. **NO DEJAR ENVEJECER LAS MUESTRAS.**

## **INDICE DE INESTABILIDAD ESTRUCTURAL (Is)**

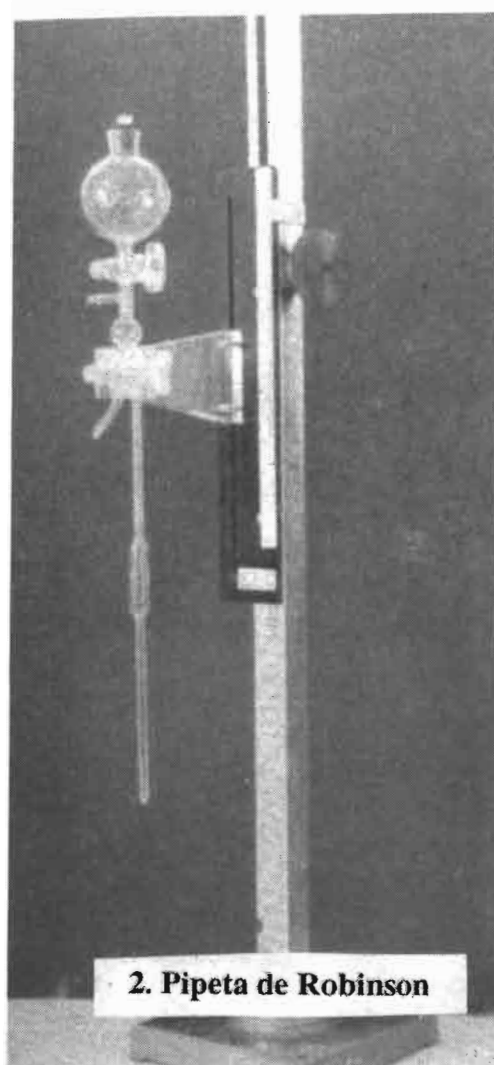
### **Materiales**

4 tamices: un tamiz de 20 cm de diámetro, abertura 2 mm y 3 tamices de 10 cm de diámetro, abertura 200 micras, todos de malla cuadrada  
3 cápsulas metálicas de 1000 ml aproximadamente, diámetro 15-20 cm  
6 cápsulas de porcelana por muestra, u otro material resistente a altas temperaturas, capacidad 50 ml ó menor a este  
3 matraces Erlenmeyers de 750 ml con sus tapas  
3 vasos de precipitación de 250 ml  
2 pipetas de 5 ml (para alcohol y benceno)  
Una pipeta de Robinson con capacidad de 20 ml ó 10 ml (foto 2, anexos 1 y 2).  
4 probetas graduadas, una de 200 ml y tres de 1000 ó 1200 ml  
Un termómetro de 0-100°C  
Un mortero con su mazo  
Una balanza de precisión (0.001 g)  
2 cronómetros  
Una piseta de 500 ml  
Un agitador Féodoroff (foto 3, anexo 3)  
Un horno regulado a 105°C  
Alcohol etílico para análisis (5 ml por muestra)  
Benceno para análisis (5 ml por muestra)  
4 l de agua destilada por muestra aproximadamente

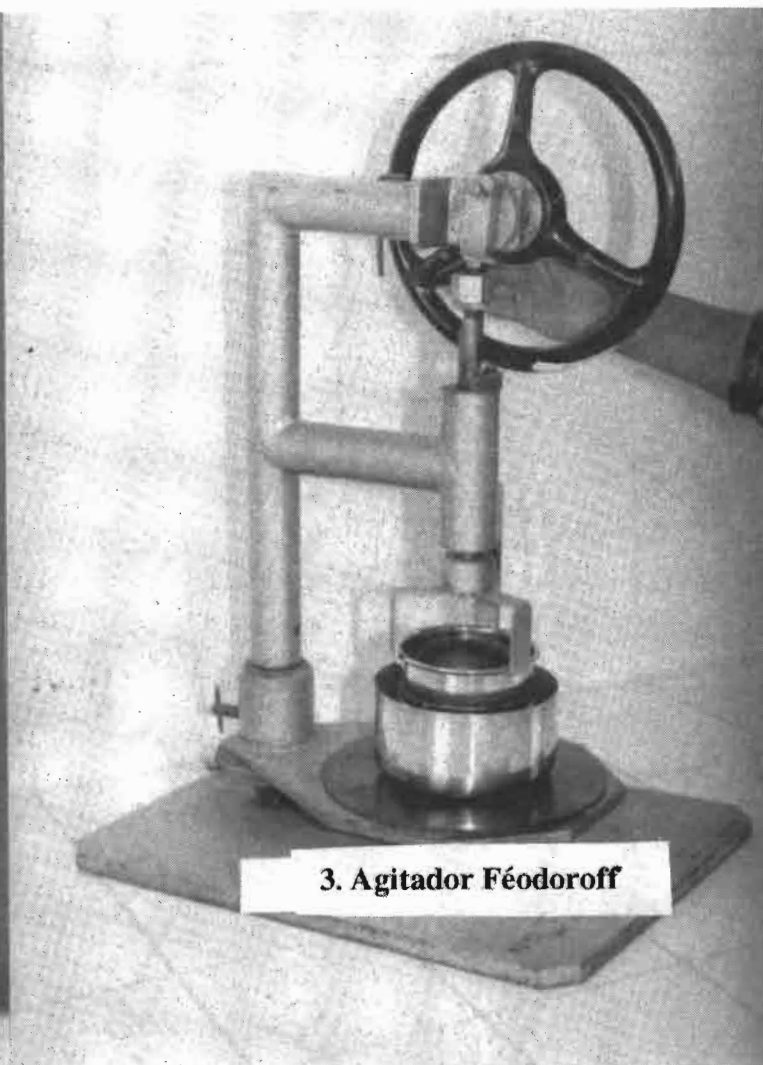
### 1. Tratamiento de las muestras superficiales

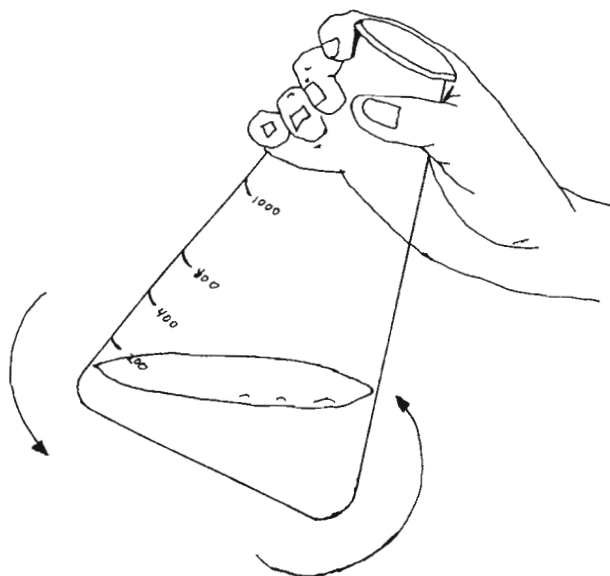


2. Pipeta de Robinson



3. Agitador Féodoroff





**Figura 1. Agitación del matraz Erlenmeyer, método de inestabilidad estructural**



**4. Muestra de suelo en Agua, Alcohol y Benceno**

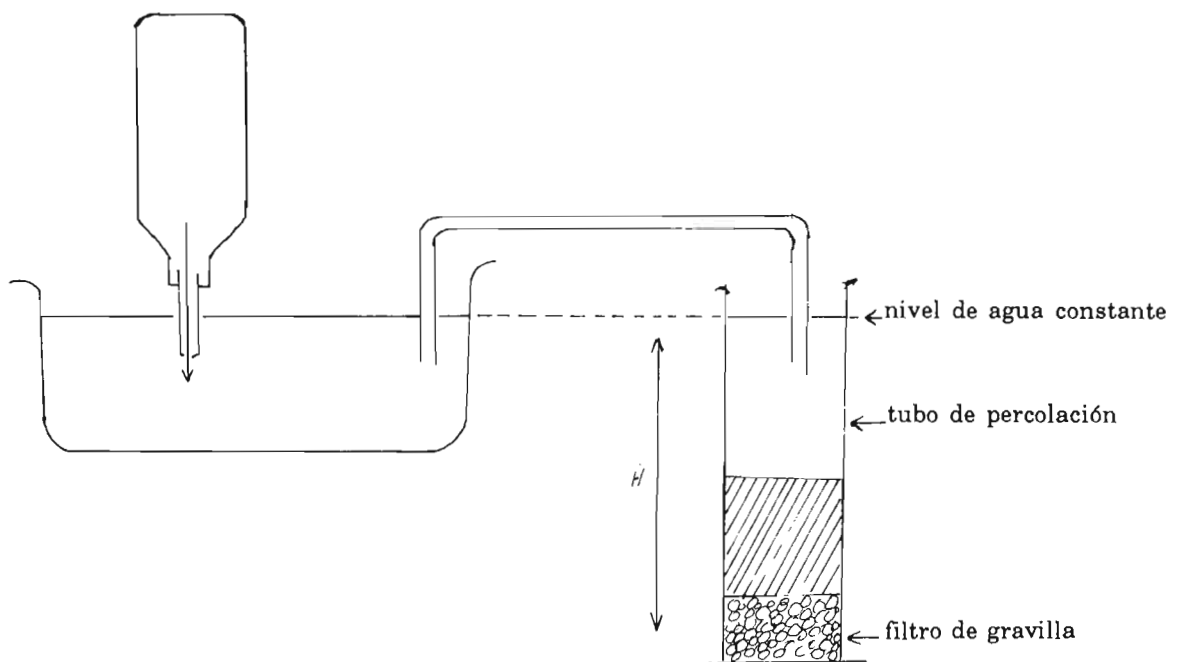
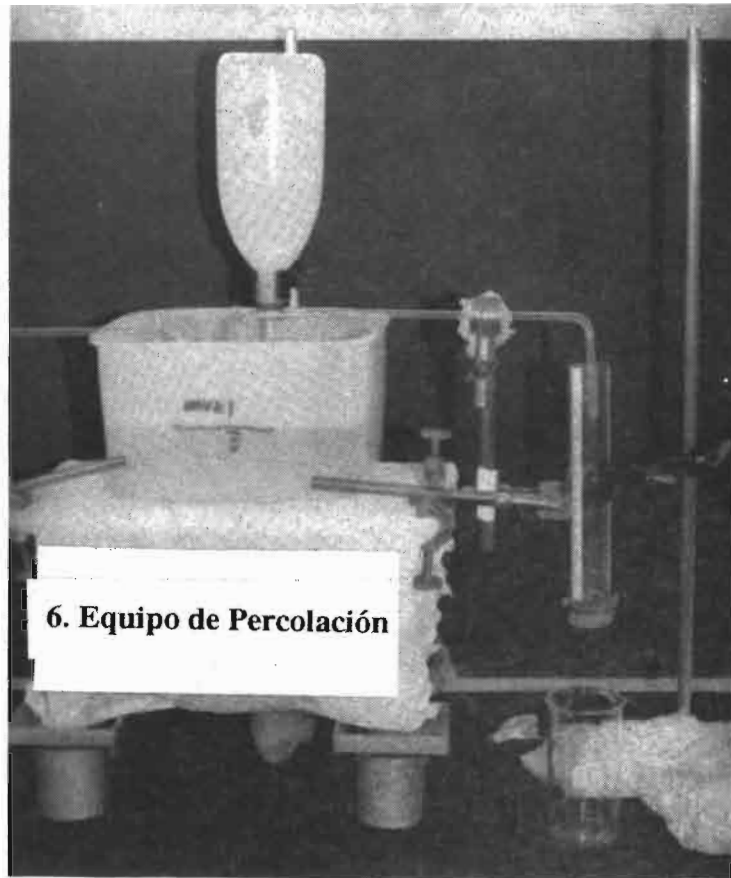


**5. Recolectando agregados estables**

## Procedimiento

### 1. Determinación de la fracción gruesa - agregado + arena (0.2 a 2mm)

- Los terrones secos (500 g aproximadamente) se forjan con la mano a través de un tamiz de 2 mm de malla cuadrada. En algunos casos, donde es imposible romper los terrones a mano, se utiliza un mortero con su mazo, separando la tierra fina con un tamiz de 200 micras ó en su defecto separar los terrones menores a 2 mm con ayuda de una espátula pequeña (cucharilla).
- Se extiende entonces estos terrones (< 2 mm) sobre una bandeja o papel periódico, de manera que se obtenga la mayor homogeneización posible en la repartición por tamaños de los agregados.
- Se pesan tres muestras de 5 g cada una, que se obtienen depositando en una balanza cuatro o cinco tomas extraídas de distintos puntos de la muestra extendida. Cada muestra de 5 g se coloca en el fondo de un vaso de precipitación de 250 ml, bien seco (foto 4). Se usan de esta forma 3 vasos con 5 g de tierra cada uno.
- En el vaso número 1, humectar la tierra con 200 ml de agua destilada lo mas cuidadosamente posible (foto 4). En el vaso 2, la muestra se humecta con 5 ml de benceno y, al cabo de 5 minutos, con 200 ml de agua destilada. En el vaso número 3 adicionar 5 ml de alcohol etílico y, al cabo de 5 minutos, agregar 200 ml de agua destilada.
- Después de agregar el agua destilada en cada tratamiento, se deja en reposo cada vaso por 30 minutos. Los agregados obtenidos luego de la inmersión en agua destilada son llamados respectivamente **Age** (vaso 1), **Agb** (vaso 2) y **Aga** (vaso 3).
- Trasvasar el contenido de cada vaso de precipitación a cada matraz Erlenmeyer de 750 ml ó 1000 ml (de cuello ancho y tapa) con ayuda de una piseta. Lavar los bordes para que los terrones se depositen en el fondo del matraz Erlenmeyer. Completar a 300 ml de agua destilada. Esta operación debe realizarse con mucho cuidado, con el fin de no destruir los terrones.
- Tapar cada Erlenmeyer y agitar en círculo 20 veces (figura 1). Esta agitación requiere de un pequeño aprendizaje para tener resultados reproducibles y eventualmente de un contraste con una tierra standard cuyo peso de agregados estables es conocido (Jeandet, com. pers.).
- Vaciar el contenido en un tamiz de 200 micras, de 10 cm de diámetro, el cual esta depositado en una cápsula metálica con capacidad de un litro. Para esto nos ayudamos de un chorro fino de agua destilada proveniente de una piseta, teniendo el máximo cuidado de no destruir los terrones.
- Golpear el tamiz en el fondo de la cápsula, con el fin de expulsar las burbujas de aire comprimidas en la tela del tamiz.



**Figura 3. Montaje del test de permeabilidad**

- Colocar la cápsula con su tamiz en un agitador Féodoroff (foto 3). Agitar 30 veces seguidas, una por cada segundo (30 segundos). El tamiz sube y baja debajo del agua en un movimiento helicoidal. En posición alta, la tela del tamiz toca la superficie del agua (anexo 0).
- En caso de que no se tenga el agitador Féodoroff (anexo 3, para la construcción del agitador), agitar con la mano el tamiz, realizando un movimiento helicoidal de 120-180 grados sobre su propio eje. Al mismo tiempo realizar un movimiento vertical (arriba y abajo), sumergiendo y sacando el tamiz de la cápsula. Con esto simulamos de alguna manera el movimiento del agitador Féodoroff. Conviene verificar los resultados con una tierra de referencia.
- Una vez agitados, los agregados retenidos en el tamiz son pasados a otra cápsula de porcelana de 50 ml (foto 5), colocada dentro de una cápsula metálica de 1000 ml. Esta operación se realiza con ayuda de un chorro fino de agua, proveniente de una piseta. El filtrado recuperado (agua mas partículas sedimentadas y en suspensión que se encuentran en la cápsula de 1000 ml y los excedentes por lavado) se deposita en una probeta graduada de 1000 ó 1200 ml.
- Hasta este punto, se deben tratar de la misma manera las otras muestras de benceno y alcohol etílico. El intervalo de 5 minutos entre muestra y muestra facilita el manejo de las 3 muestras seguidas.
- Una vez recolectadas las muestras del tamiz, depositar las 3 cápsulas a un horno regulado a 105°C durante 24 horas para su secado y pesar.

## **2. Determinación de la fracción en suspensión (partículas inferiores a 20 micras)**

- Tomar el filtrado depositado en cada probeta y proceder individualmente. Llenar cada probeta a 1000 ml con agua destilada, agitar durante 15 seg. (agitación lenta) y depositar suavemente en la mesa. Allí empieza el tiempo  $t_0$ .
- Si se produce una floculación, agregar un dispersante (hexametáfosfato de sodio), en la dosis habitual del análisis mecánico (textura). Agitar durante 30 seg. y depositar suavemente en la mesa.
- Medir la temperatura de la muestra. Utilizar las tablas de temperatura vs. tiempo de muestreo (cuadro 1), a 10 cm de profundidad (ej. 4'48" a 20°C), para ver el momento de extraer la muestra con la pipeta de Robinson. El detalle de la operación esta explicado en el anexo 1.
- Una vez recolectada la muestra, vaciar esta en una cápsula de porcelana ó cualquier material resistente a altas temperaturas, inclusive lavando la pipeta de Robinson con un exceso de agua. Proseguir con esta técnica para el resto de las muestras.
- Llevar a un horno regulado a 105°C por 24 horas para su secado y pesar.

**Cuadro 1. Tiempo de muestreo a 10 cm de profundidad para la determinación de arcillas mas limos (Partículas < 0.002 mm de diámetro)**  
(Luzuriaga *et al.*, 1992)

Temperatura del cilindro	Tiempo de caída para 10 cm de profundidad en minutos-segundos
10°C	7-08
11°C	6-41
12°C	6-15
13°C	5-48
14°C	5-38
15°C	5-27
16°C	5-19
17°C	5-10
18°C	5-03
19°C	4-55
20°C	4-48
21°C	4-40
22°C	4-34
23°C	4-28
24°C	4-22
25°C	4-15
26°C	4-11
27°C	4-06
28°C	4-00
29°C	3-55
30°C	3-51
31°C	3-46
32°C	3-42
33°C	3-37

### 3. Determinación del % de arenas gruesas (0.2 a 2mm)

- Los agregados estables de los tres tratamientos son reunidos en un vaso de precipitación de 250 ml y recubiertos con 20 ml de agua oxigenada para destruir los cementos orgánicos. Se calienta en un baño maría regulado a 60°C durante algunas horas.
- Añadir luego 200 ml de solución de KCl 0-1 N, para saturar la arcilla en potasio y facilitar así su lavado. Dejar en reposo durante 24 horas.
- Luego de este tiempo, llevar la muestra nuevamente a los tamices de 200 micras y con un chorro de agua destilada lavar las arenas que quedaron en el tamiz.
- Vaciar nuevamente en las cápsulas de porcelana y secar en un horno regulado a 105°C por 12 horas, pesar. Se obtiene así el porcentaje de arenas gruesas.

## Expresión de los resultados

### 1. Determinación de la fracción gruesa: agregados + arena (0.2 mm a 2mm)

- % de agregados estables (agua) **AGe**
- % de agregados estables (benceno) **AGb**
- % de agregados estables (alcohol etílico) **AGa**

Pesar las cápsulas con suelo una vez seco (agua, benceno y alcohol) y restar el peso de la cápsula. Llevar estos pesos a porcentaje, relacionando cada uno con los 5 gr de muestra de suelo utilizados.

### 2. Determinación de la fracción en suspensión (partículas inferiores a 20 micras)

- Fracción en suspensión (agua) **FSe (%)**
- Fracción en suspensión (benceno) **FSb (%)**
- Fracción en suspensión (alcohol etílico) **FSa (%)**

Pesar las cápsulas con la fracción en suspensión **PCFS** una vez seco (agua, benceno y alcohol), y restar el peso de la cápsula **PC**.

Llevar estos pesos a porcentaje para cada una de las muestras de la siguiente manera:

Ej:

$$\% \text{FSae} = \frac{(\text{PCFS} - \text{PC}) \times 1000 \text{ ml} \times 100 \%}{10 \text{ ml} \times 5 \text{ gr de suelo}}$$

Donde:

<b>PCFS =</b>	Peso cápsula + fracción en suspensión
<b>PC =</b>	Peso de la cápsula
<b>1000 ml =</b>	Capacidad de la probeta, la cual puede variar según cuanto se quiera llenar.
<b>10 ml =</b>	Capacidad de la pipeta de Robinson, este puede variar, puede ser 20 ml.
<b>5 g de suelo =</b>	Muestra de suelo.

Una vez determinadas las fracciones en suspensión, inferiores a 20 micras, tomar el valor máximo de los tres tratamientos (generalmente benceno o agua).

### 3. Determinación del % de arenas gruesas (0.2 a 2mm)

- Restar al peso de la cápsula con arena, el peso de la cápsula.
- Calcular el porcentaje de arena (SG), tomando en consideración ya no 5 g, sino 15 g de muestra.



#### 4. Cálculo

Para el cálculo de la Inestabilidad estructural **Is**, se tiene la siguiente formula:

$$Is = \frac{(\text{Fracción en suspensión } FS < 20 \text{ micras}) \text{ valor máximo (\%)}}{\frac{(AGe + AGb + AGa) - 0.9 SG (\%)}{3}}$$

- El valor 0.9 es un valor para hacer entrar a todos los materiales en una misma escala de comparación, tomando en cuenta su comportamiento en el campo. Se debe contabilizar al menos una fracción de la cantidad de arenas gruesas. Esta puede ser determinada preferentemente a partir de los materiales recogidos en el tamiz en el curso de los análisis de los agregados.
- El índice de inestabilidad estructural **Is** obtenido puede variar de 0-0.1 en las tierras ricas en materia orgánica, 0.1-2 en las tierras con contenido medio de materia orgánica, 5-20 en las tierras salinas y 100 inclusive más, en las tierras sódicas.

#### Funciones del alcohol y del benceno

El pretratamiento con alcohol elimina el aire retenido en la porosidad de los terrones. El agua miscible con el alcohol penetra entonces sin provocar un incremento de la presión interna, anulando el estallido de los agregados del suelo (terrones). Esta acción se presenta generalmente en aquellos suelos pobres en materia orgánica. En el pretratamiento con benceno o cualquier otro elemento orgánico (sulfuro de carbono, parafina), el aire esta reemplazado por un líquido incompresible, no miscible con agua. Con la penetración del agua, la presión interna llega a su límite superior, aumentando los riesgos de desagregación. Pero la fijación del benceno en las materias orgánicas hidrófobas limitará al mismo tiempo esta presión máxima, sustrayéndolas así de la acción desagregante del agua.

Un % bajo de agregados estables en benceno **AGb** revelará una pobreza de la muestra en materia orgánica. En suelos de textura idéntica, el % de **AGb** puede diferenciar el contenido en materia orgánica; a contenido similar en materia orgánica, el % de **AGa** puede diferenciar las texturas.

## TEST DE PERMEABILIDAD (K)

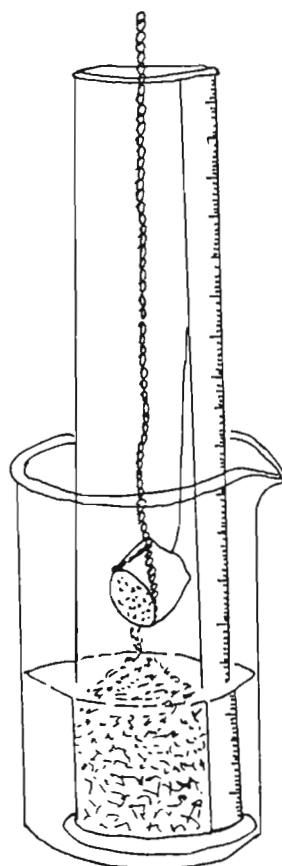
Este es un método particularmente delicado, ya que la técnica de medición puede modificar bastante las propiedades medidas. Por este método se determina el coeficiente de permeabilidad **K** de la formula de Darcy. Se mide el escurrimiento de agua a través de una columna de tierra (peso constante), colocada en tubos de percolación, en condiciones standard.

### Materiales

Agua destilada (dependiendo del tipo de suelo, desde 10 ml a 5000 ml por muestra)  
Un tamiz de 20 cm de diámetro, malla cuadrada, abertura de 2 mm  
Un mortero y su mazo  
Una balanza de precisión (0.01 g)  
5-10 recipientes pequeños para pesar las fracciones de una muestra  
Una cubeta de capacidad aproximada 5-7 litros (25x25 cm de base x 15 a 20 cm de altura)  
2 botellas de plástico con capacidad 1000 ml y con tapas de goma perforadas  
2 tubos de vidrio (diámetro 6 mm), de 10 a 15 cm de largo, estos se acoplarán a cada botella  
2 tubos sifón, de ángulo recto  
4 soportes universales con sus respectivas abrazaderas  
Una mesita pequeña de 20-25 cm de alto, en la cual irá la cubeta  
2 tubos de percolación con reborde en uno de los extremos, de 32 mm de diámetro y 15-20 cm de altura, se puede fabricar de tubos fluorescentes  
2 telas filtrantes de 5x5 cm, puede ser una tela nylon, abertura 0.5 mm (no imprescindible)  
2 ligas para sujetar estas telas filtrantes  
200 gr de gravilla de 2-4 mm de diámetro  
2 vasos de 250 ml de forma tubular  
2 cucharillas movibles (figura 2)  
Una varilla de vidrio de 30 cm  
Un matraz de 1000 ml

### Procedimiento

- La preparación de la muestra es la misma que para la inestabilidad estructural. Tomar para el ensayo 50 g de suelo, sacados de varios lugares de la muestra homogeneizada y extendida.
- Dividir esta cantidad de suelo en 5 porciones de 10 g cada una. Cuando el suelo tiene un elevado contenido de materia orgánica, se puede dividir en 10 proporciones de 5 g, de manera que no se tenga problemas en el llenado.



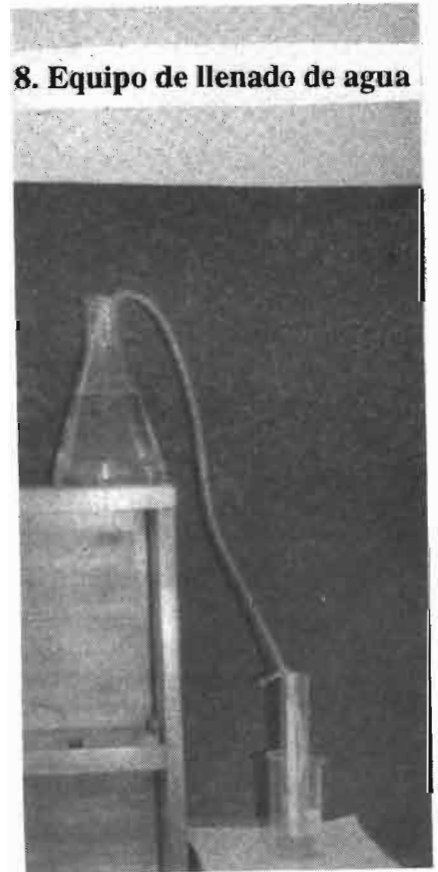
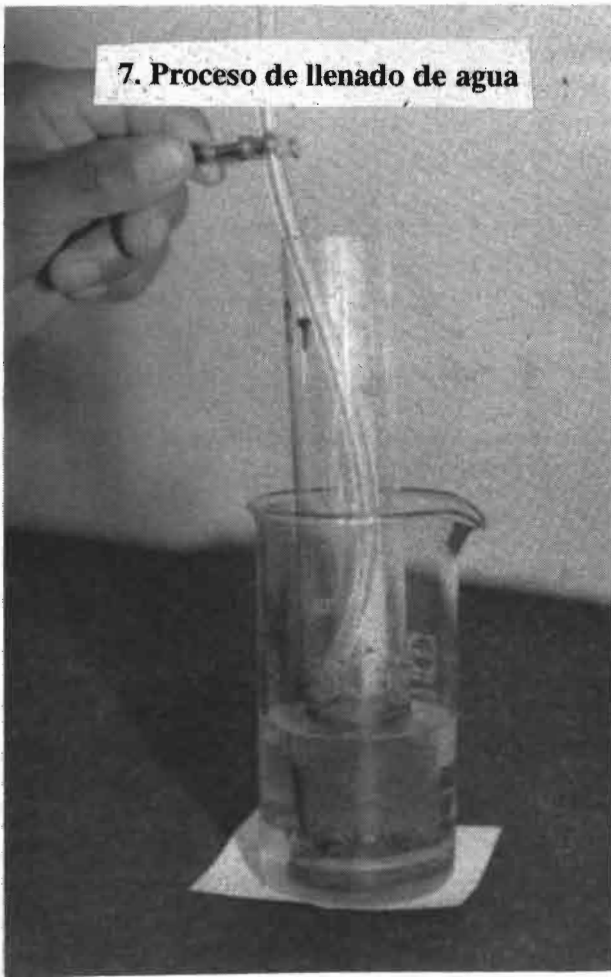
**Figura 2. Esquema del llenado de tierra,**

**test de Permeabilidad K**

- Colocar en el reborde de los tubos de percolación las telas filtrantes y sujetarlas con sus elásticos. Instalar estos tubos en sus respectivos soportes. Colocar la cubeta encima de una mesa pequeña y llenar con agua destilada hasta la mitad (foto 6 y figura 3).
- Llenar las botellas de plástico con agua, taparlas e introducir en el tapón un tubo de alimentación (tubo de vidrio de 10-15 cm de largo). Volcar las botellas y mantenerlas en esta posición mediante sus respectivos soportes, de manera que los tubos alcancen justo el nivel de agua que está en la cubeta (foto 6 y figura 3).
- Una vez instalado todo el equipo necesario para el trabajo, se procede a bajar de los soportes los tubos de percolación e introducirlos en los vasos de precipitación de 250 ml.
- Para realizar el llenado, introducir primeramente en los tubos de percolación gravilla de 2-4 mm de diámetro. Previamente esta debe ser lavada y conservada en agua.
- Añadir agua destilada, de manera que el nivel común en el vaso de precipitación y en el tubo se establezca a 2 cm, aproximadamente, por encima de la superficie superior de la columna de gravilla, la cual debe estar bien horizontal.

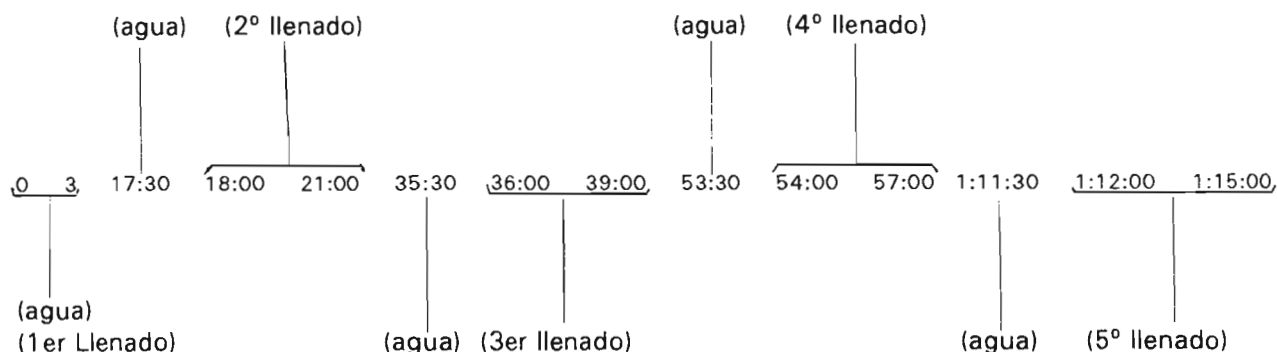
*Observación: muchas precauciones se deben tomar para colocar la tierra en el tubo de percolación. Si caen los terrones de la altura del tubo, estallan de manera que se produce una selección por sedimentación de los materiales mas finos que pueden colmatar la tela filtrante, dejando la materia orgánica flotando en la superficie del agua.*

- Para evitar que la muestra de suelo caiga de lo alto del tubo, introducir progresivamente cada muestra separada de 10 g, de manera que los terrones caigan en medio del tubo, utilizando una **cucharilla movable** (figura 2).
- Realizar luego un ligero movimiento circular al tubo alrededor de su eje, sin sacar el tubo del vaso de precipitación, con el cual se iguala la superficie de la columna de tierra, este movimiento no debe ser brusco.
- Se añade entonces 2 cm de agua en el tubo (foto 7), por encima de la superficie de tierra. De igual manera, introducir 2 cm de agua al vaso de precipitación, para que se igualen las dos columnas de agua. Tener mucho cuidado al introducir agua en el tubo, evitando así de destruir los agregados sumergidos en el agua. Para esto se hace uso de una manguera de plástico de 6 mm de diámetro, suministrada con agua constante a través de un matraz Erlenmeyer de 1000 ml equipado de válvulas de cerrado (foto 8).
- Se introduce entonces una segunda fracción de 10 g y se vuelve a empezar nuevamente la operación, hasta introducir los 50 g. El tiempo de llenado es un aspecto muy importante, este debe realizarse en 75 min.



Ejemplo: en minutos

Ejemplo: en minutos.



- Una vez terminado el llenado de tierra, agregar agua destilada en el tubo hasta 1 a 2 cm del borde superior del tubo. Comunmente se hace el llenado de agua hasta una altura de 14.5 cm. A partir de este momento la operación debe realizarse en el menor tiempo posible, teniendo también el cuidado de no realizar movimientos bruscos.
- Adaptar el tubo de percolación al soporte universal. Mediante los tubos sifón (tubos de vidrio de diámetro 5-6 mm, el mismo que los conectados en las botellas), conectar la cubeta de agua a los tubos de percolación; el tubo sifón debe estar sumergido en el tubo de percolación. Todo este procedimiento debe estar hecho con una alimentación de agua a nivel constante. La percolación se hace bajo una carga constante.
- El tiempo  $T_0$  (10 min) corresponde al establecimiento de la carga. El agua recogida durante este tiempo se elimina y se mide luego el volumen infiltrado durante una hora. Entonces toda la percolación tiene un tiempo de duración de 1 hora con 10 min.
- Todo el procedimiento desde el llenado hasta la conclusión del método de percolación dura 2 horas con 25 minutos.

## Expresión de los resultados

Se calcula para cada muestra el coeficiente **K**:

$$K = \frac{e \times V}{H \times S}$$

Donde:

**e** = Altura en cm de la columna de tierra; no están comprendidos evidentemente los 2 cm de gravillas.

**V** = Volumen en  $\text{cm}^3$  recogido en el curso de la primera hora de percolación.

**H** = Altura en cm en el tubo, entre la tela filtrante (límite inferior de la columna de agua) y la superficie de la película de agua.

**S** = sección interior del tubo en  $\text{cm}^2$ .

**K** = Coeficiente de permeabilidad, expresado en  $\text{cm/hr}$ .

Los resultados pueden variar entre 30 y 60  $\text{cm/h}$  en las tierras arenosas ó ricas en materia orgánica, entre 0 y 1  $\text{cm/h}$  en las tierras salinas y/o sódicas.

## CONCLUSION

Cuando las medidas de **Is** y **K** han sido efectuadas, disponemos de dos valores para caracterizar el suelo estudiado. Se trata de combinarlos de manera que se saque una impresión de conjunto. Si las dos series de medidas estuviesen rigurosamente afectadas por los mismos factores, debería observarse una relación inversa entre ellas. Para esto llevar a un gráfico las medidas efectuadas; en las abscisas el coeficiente de inestabilidad **Is** y en las ordenadas su permeabilidad **K**. Los puntos obtenidos tienden a alinearse sobre hipérbolas cuyas asíntotas son los ejes de las coordenadas. En estas condiciones no es muy cómodo apreciar correctamente la posición de los puntos intermedios. Por lo tanto, reemplazando los valores de **Is** y **K** por **Log de (10Is)** y **Log de (10K)**, se obtienen puntos que tendrán una tendencia a agruparse alrededor de una recta de ecuación (Henin *et al.*, 1972), establecida empíricamente.

$$\text{Log } 10K + B \text{ Log } 10Is - \text{Log } A = 0$$

## BIBLIOGRAFIA

- FEODOROFF A., 1960. Evaluation de la stabilité structurale d'un sol (Indice S) : nouvelles normes d'emploi pour l'appareil à tamiser. Annales Agronomiques, No 6, pp. 651-659.
- HENIN S., 1977. Cours de physique du sol I. ORSTOM-EDITEST.
- HENIN S., MONNIER G., COMBEAU A., 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Annales Agronomiques, 9 (1), pp. 73-92.
- HENIN S., GRAS R. & MONNIER G., 1972. El perfil Cultural; El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 125-157.
- LE BISSONNAIS Y., 1994. Protocole pour l'étude des mécanismes de désagrégation (méthode de Hénin modifiée le Bissonnaïs). Note méthodologique Service d'Etude des sols et de la carte Pédologique de France, INRA, Centre de Recherche d'Orléans, 4 p.
- LUZURIAGA C., MENDOZA E. & PLENECASSAGNE A., 1992. Métodos de análisis suelos y foliares. Tumbaco, Ecuador, pp. 7-12.
- MONNIER G., s.f. Structure et stabilité structurale des sols. Versailles, CNRA, Laboratoire d'Etudes des Techniques Culturelles, 10 p.
- SUAREZ F., 1979. Conservación de suelos. Ed. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica, Serie de libros y materiales educativos No 37, Tercera edición, pp. 39-41.

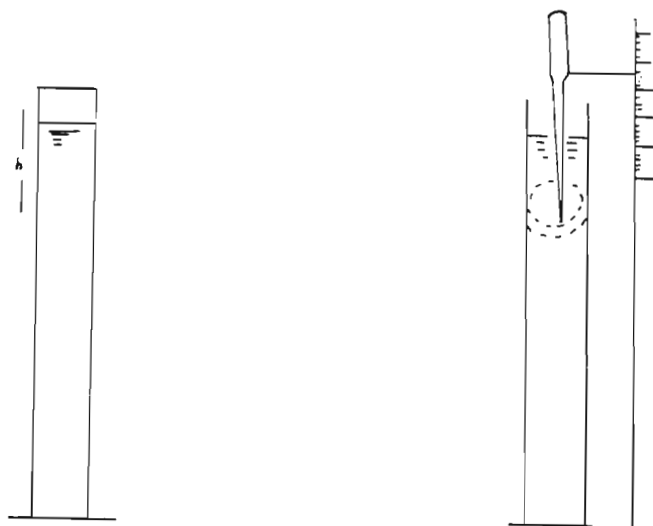
## Anexo 0. Funcionamiento del agitador Féodoroff

El aparato utiliza un tamiz de 10 cm de diámetro, profundidad 6 cm y abertura de malla 200 micras, el cual se fija por una uña o reborde. El agitador le da un movimiento helicoidal alternativo, de recorrido 40 mm y rotación  $180^\circ$  cuando el volante es girado de manera continua. Este movimiento es aplicado por medio de un sistema biela-manivela y una leva acanalada en hélice solidaria que lleva el tamiz.

El plato móvil gira alrededor del eje del soporte, a fin de tener el espacio necesario para las operaciones de llenado. La placa de goma pegada al plato sirve de amortiguación y no es corroída por el benceno. Un anillo atarrajado en la base de la columna permite regular la altura del plato a fin de facilitar la nivelación de la tela del tamiz con la superficie del agua.

## Anexo 1. ¿Que es el método de la pipeta de Robinson?

El método consiste en sacar una muestra, a una cierta altura de suspensión y a un nivel  $p$  calculado según la temperatura del líquido, dependiendo de la clase de partículas que se quiere separar en el volumen.



Si  $h = 10$  cm y  $t = 288$  s, el plano  $p$  contiene, a su concentración inicial, todas las partículas cuya velocidad de caída es inferior o igual a  $10/288 = 0.0354$  cm/s, o sea cuyas dimensiones son inferiores o iguales a 0.02 mm (incluyen arcilla + limo).



## Anexo 2. ¿Como calcular el volumen exacto de la pipeta de Robinson?

- Para medir el volumen exacto de la pipeta de Robinson, se utilizan 5 cápsulas secadas a 105°C y taradas. Se utiliza agua destilada hervida, enfriada a la temperatura ambiente en un recipiente cerrado.
- Efectuar una pipeteada del agua destilada hervida con la pipeta de Robinson y recoger el agua en una cápsula tarada, cerrar inmediatamente la cápsula y pesar sin esperar, anotar el peso.
- Abrir la cápsula y por medio de un termómetro de precisión medir la temperatura.
- Repetir 5 veces esta operación.

$$\text{Vol del agua} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{densidad del agua (en función a la temp.)}}$$

- Efectuar el promedio de las cinco medidas:

$$V = (v1 + v2 + v3 + v4 + v5)/5$$

- Podemos, o utilizar este volumen obtenido, o sacar un factor de corrección (K), para los calculos de la siguiente manera:  $K = 20/V$ .

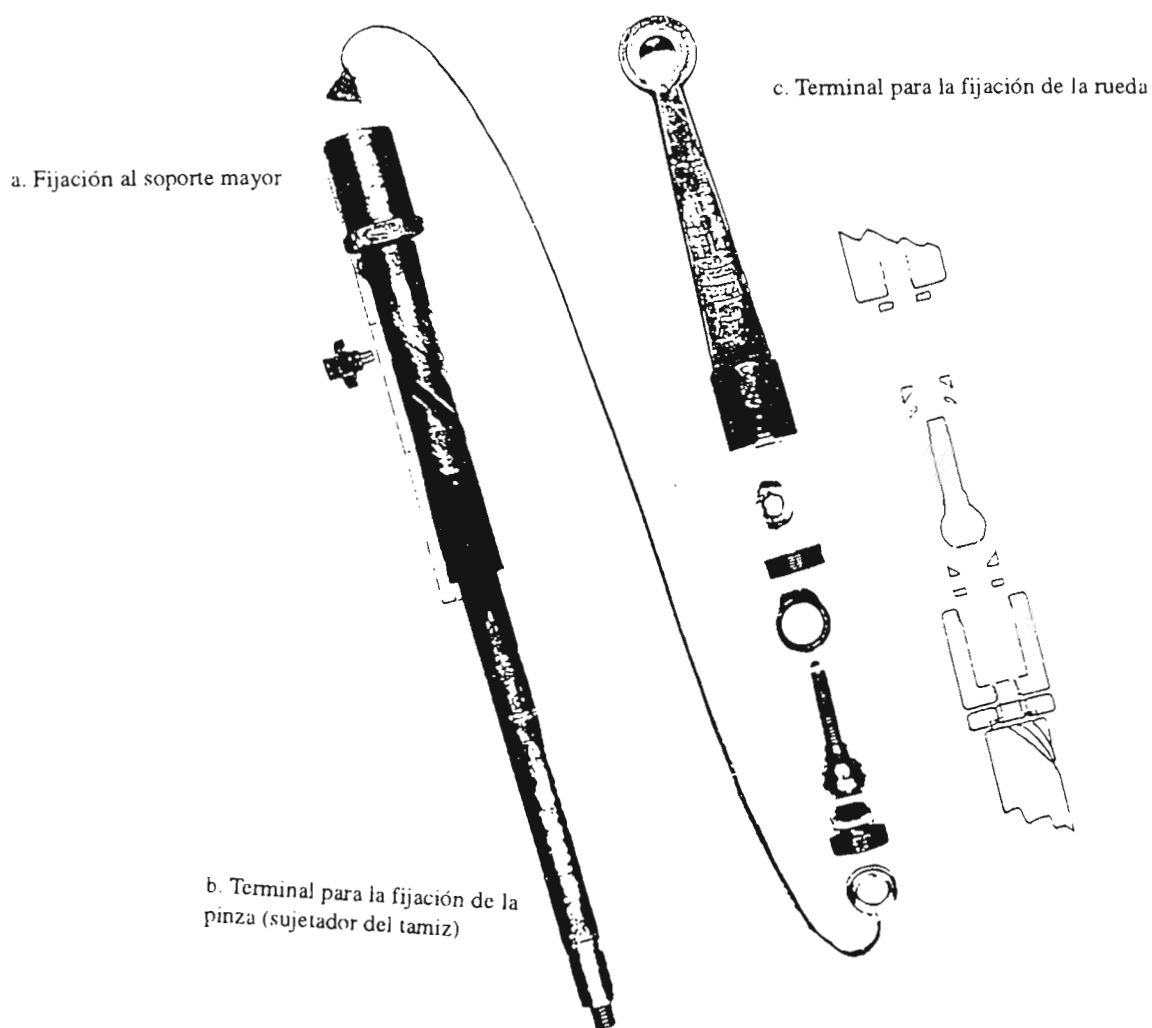
## Anexo 4. Funcionamiento del agitador Féodoroff

El aparato utiliza un tamiz de 10 cm de diámetro, profundidad 6 cm y abertura de malla 200 micras, el cual se fija por una uña o reborde. El agitador le da un movimiento helicoidal alternativo, de recorrido 40 mm y rotación 180° cuando el volante es girado de manera continua. Este movimiento es aplicado por medio de un sistema biela-manivela y una leva acanalada en hélice solidaria que lleva el tamiz.

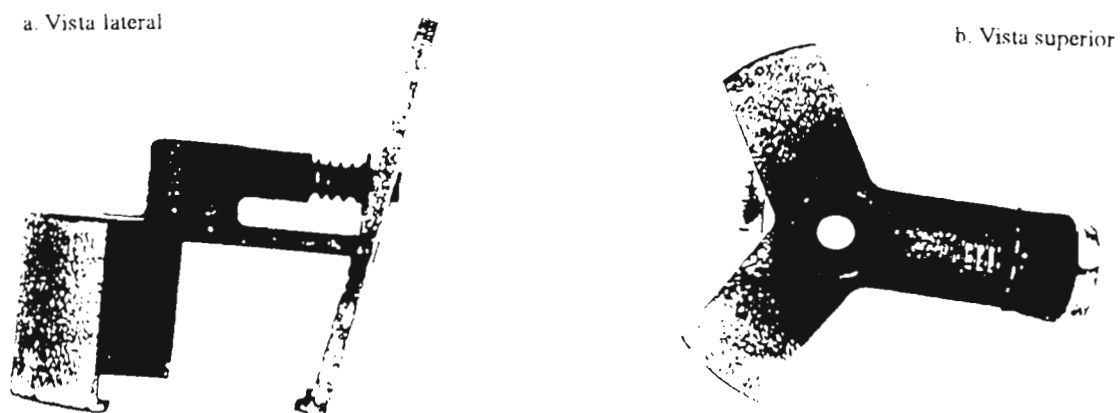
El plato móvil gira alrededor del eje del soporte, a fin de tener el espacio necesario para las operaciones de llenado. La placa de goma pegada al plato sirve de amortiguación y no es corroída por el benceno. Un anillo atarrajado en la base de la columna permite regular la altura del plato a fin de facilitar la nivelación de la tela del tamiz con la superficie del agua.

### Anexo 3. Partes de un agitador Féodoroff

#### A. Detalle de las partes que otorgan un movimiento helicoidal



#### B. Detalle de las pinzas de la fijación al tamiz



*Dominique HERVE, David CONDORI*<sup>1</sup>

### OBJETIVOS

Se observa a menudo el estado superficial del suelo al momento de la siembra. Según la calidad de la preparación del suelo, se logrará o no un contacto entre las semillas y los agregados de tierra. La proporción de terrones de diámetro inferior a 5 cm indicará por ejemplo la calidad de una cama de siembra para cereales (Reinaga, 1983). Pero se puede observar el estado superficial del suelo en otras situaciones y con otros métodos.

En efecto, el estado superficial del suelo es un factor muy importante de la sensibilidad del suelo a la erosión. La superficie del suelo es el lugar de intercambio de gases con la atmósfera. Esta sometida a procesos de humectación-desecación, a variaciones de temperatura (helada) y a acciones energéticas de degradación por las lluvias. Según la capacidad de infiltración de la superficie del suelo y la intensidad de las lluvias, el agua se estancará en la rugosidad superficial para luego escurrir, llevando material fino que se depositará a medida que se reduce la velocidad del escurrimiento.

La degradación del estado superficial del suelo se puede apreciar por la destrucción de la rugosidad superficial y la formación de costras de reducida capacidad de infiltración. Un indicador de este proceso es el diámetro mínimo del terrón no aún incorporado a la costra. Este diámetro va aumentando en la medida que terrones de tamaños crecientes están incorporados a la costra, cuyo espesor también crece.

Una vez que las costras están formadas, son otras variables, su estado (estructural, de sedimentación), su espesor, su resistencia a la penetración, que permiten saber si siguen funcionando, aun con cobertura vegetal, como superficies de escurrimiento.

Se puede monitorear esta degradación luego de intervenciones culturales:

- después de la labranza, para comparar métodos de labranza o determinar el momento oportuno y el número de labranzas secundarias,
- a la siembra, para comparar la velocidad de degradación del estado superficial del suelo con la velocidad de instalación de una cobertura vegetal. Esta última actúa como protectora de la estructura de la superficie del suelo.

### METODO

Se trata de tomar una foto a la vertical de una porción limitada de la superficie del suelo para determinar luego, por planimetría, las proporciones cubiertas por cada clase de tamaño de terrones: tierra fina <1 cm, 1-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, > 20 cm (ó 5-10 cm, 10-20 cm), por la costra (se confunde con la clase < 1 cm, cuando no se reconocen agregados distintos de la masa de tamaño inferior a 1-3 cm), por las piedras, los residuos orgánicos y la vegetación.

(1) Ing. Agr., CEGMARN, casilla 2937, Cochabamba, Tef: 36674.

Se puede luego diferenciar las piedras en clases: 2-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm, 2-5 cm, 5-10 cm, >10 cm, según los objetivos perseguidos.

Colocando un aparato fotográfico con un objetivo de 50 mm en un trípode, en posición horizontal a 1.20 m de altura, se tomó fotografías de un marco colocado sobre el suelo de 60 por 80 cm. El tamaño de la placeta de observación obliga a una ligera inclinación de la cámara que puede deformar ligeramente las imágenes obtenidas; se deberá volver a calcular la escala para cada foto. El marco debe ser colocado perpendicularmente al sentido del avance del arado o a las líneas de siembra. Para controlar la altura de toma y la horizontalidad de la cámara fotográfica, es más seguro instalar la cámara sobre un trípode de fotógrafo. Según la hora de la toma de fotos, pueden aparecer sombras que dificultan luego la evaluación de las áreas por planimetría.

Para observaciones repetidas de las mismas estaciones, es sumamente importante asegurar que las placetas han sido marcadas en sus cuatro esquinas y no van a ser pisoteadas. También, es conveniente tomar las fotos a la misma hora y del mismo lado de la placeta para que diferencias de sombras no dificulten la interpretación.

En el cuadro 1, se compara la estimación visual de cada clase de terrón, *in situ*, con la medición realizada mediante planimetría a partir de las fotos sacadas a la vertical.

Cuadro 1. Comparación del estado superficial observado y planimetrado, en porcentaje de recubrimiento por cada clase de terrón (promedio de tres observaciones) (Condori, 1992: 82).

TRATAMIENTO: Y SUBTRATAM.			ESTIMACION VISUAL				CON PLANIMETRO			
			<1	1-5	5-20	>20	<1	1-5	5-20	>20
HR1	PR1	FA	20	23	32	25	29	21	23	27
		F	23	25	52	0	35	23	42	0
	PR2	FA	27	23	35	15	37	33	20	10
		F	15	19	66	0	39	30	30	1
HR2	PR1	FA	18	15	45	22	29	37	29	5
		F	5	20	61	13	25	35	38	2
	PR2	FA	14	23	45	18	38	28	16	16
		F	17	33	50	0	37	31	29	3
HR3	PR1	FA	16	20	39	25	50	30	17	3
		F	10	25	62	3	38	34	26	2
	PR2	FA	25	28	35	12	48	34	17	1
		F	10	27	55	8	50	38	12	0
TO		FA	26	18	29	27	27	28	15	30
		F	10	37	47	7	30	40	28	2

FA = Textura Franco arenosa

F = Textura Franca

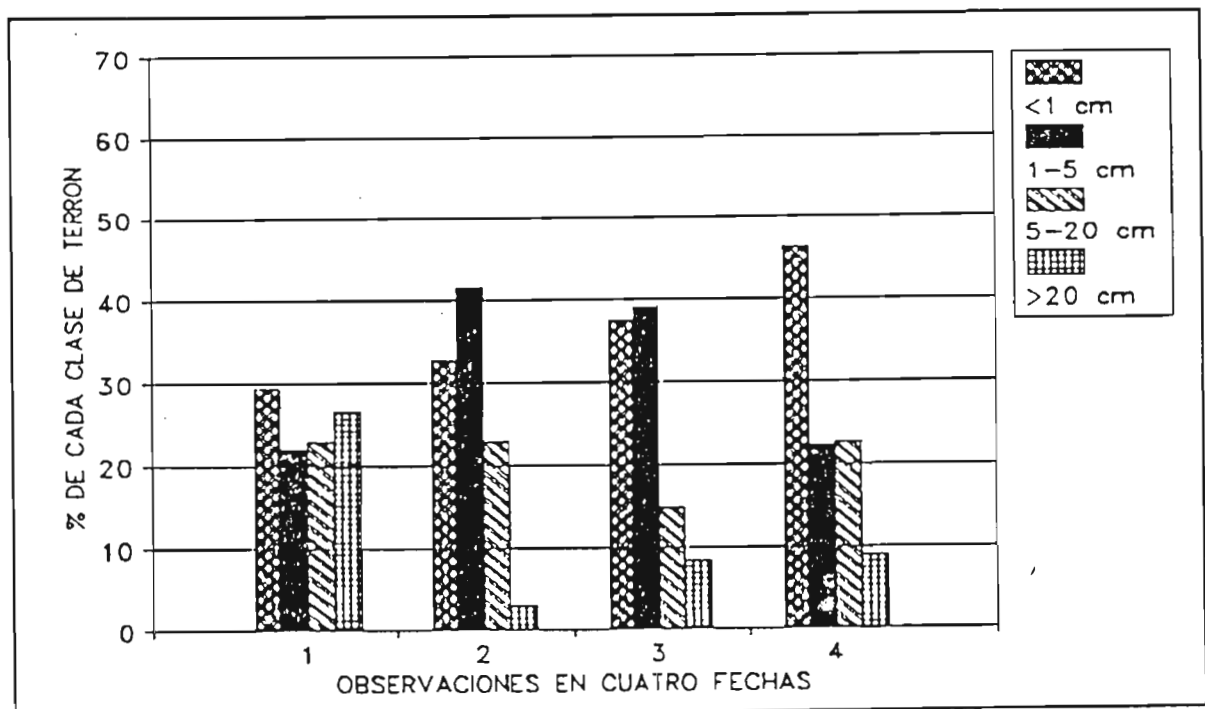
En general, para ambas texturas, se subestima visualmente la proporción de tierra fina (< 1 cm) y de agregados de 1-5 cm de diametro. Por el contrario, se sobre-estima la proporción de terrones grandes de 5-20 cm y mayores a 20 cm de diametro. El trabajo sobre fotos obvia este tipo de desajuste asi cómo problemas de cambio de observadores si se sigue la evolución del estado superficial en el tiempo. La pequeña cantidad de terrones grandes en caso de textura franca se explica por un paso suplementario de rastra inmediatamente despues de la roturación; en textura franco-arenosa, solo hubo una pasada de un arado de discos.

Para seguir la degradación de la superficie, se aconseja repetir las fotos cada 10mm de precipitación acumulada o despues de cada intervención cultural, pero depende de la velocidad del fenómeno observado. Se interpretan las fotografías, desarrolladas en papel, marcando en primer lugar los límites de las placetas y luego, en un papel cebolla o en la misma foto, el contorno de diferentes clases de terrones, para su posterior evaluación cuantitativa con un planímetro.

### EJEMPLO

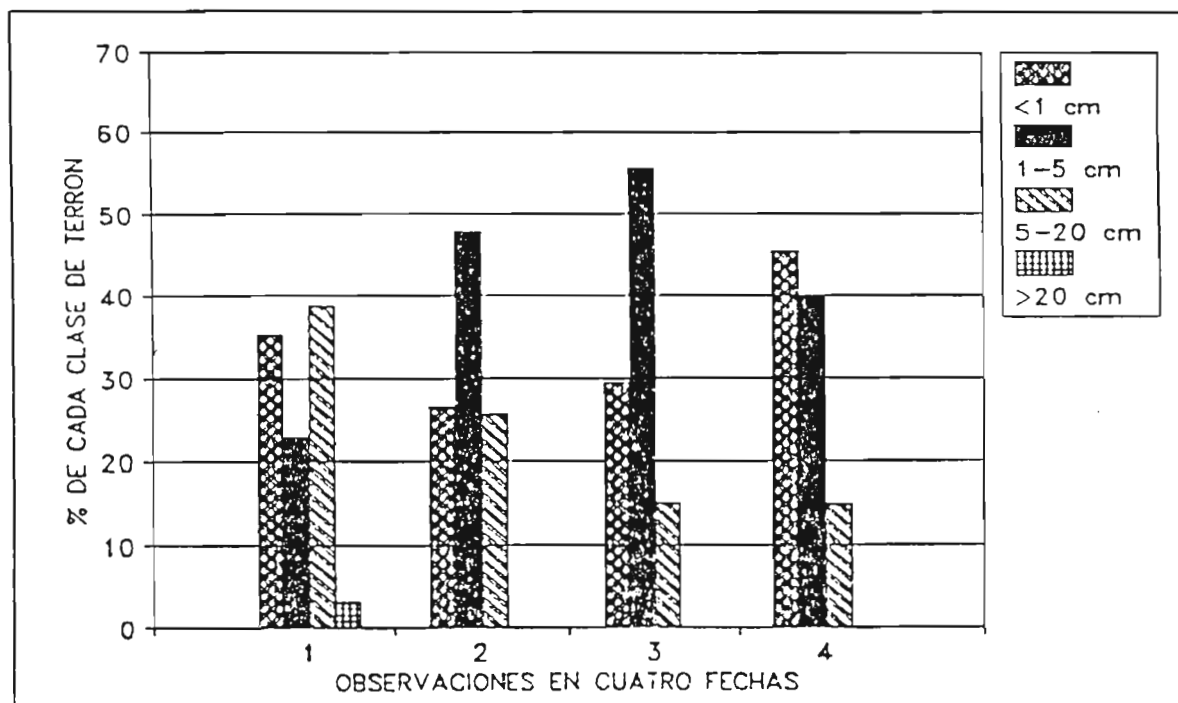
A manera de ejemplo, se presentan algunos resultados de un monitoreo de la superficie del suelo, entre la roturación y la siembra, realizado por Condori (1992). Se comparaba en este ensayo dos texturas, franco-arenosa (cuadro 2) y franco

Cuadro 2. Evolución del estado superficial entre la roturación con discos (20-25 cm de profundidad, 11% de humedad) y la siembra, en textura franco-arenosa (Condori, 1992: 87)



El trabajo del suelo en textura franco-arenosa da terrones en proporción casi idéntica entre las diferentes clases (cuadro 2). Los terrones de 5-20 cm y superiores a 20 cm de diámetro reducen su proporción con el tiempo por efecto de las lluvias. Su tamaño se reduce sobre todo entre las fechas 2 y 3, con una lluvia acumulada entre estas dos fechas de 31.5 mm. Al final, la proporción de tierra fina esta cerca de 50%.

Cuadro 3. Evolución del estado superficial entre la roturación con discos (20-25cm de profundidad y 19% de humedad) y la siembra, en textura franca (Condori, 1992: 91)



En textura franca, la mayor proporción de terrones obtenidos con el laboreo pertenece a la clase 5-20 cm (cuadro 3). Estos terrones se van a fragmentar entre las fechas 1 y 3, en beneficio de la clase 1-5 cm, pero sin desaparecer. Entre las fechas 3 y 4, 15% de la clase 1-5 cm se reduce a tierra fina. Si bien la proporción de tierra fina lograda es idéntica a la situación anterior, la estructura final queda mucho más gruesa.

Estas observaciones permiten un monitoreo cualitativo y cuantitativo del estado superficial del suelo. En el ejemplo, ayuda en seguir la desagregación de los terrones. Se podría también usar para seguir la extensión de las costras superficiales. Quedaría por probarse si este método puede ser útil también para monitorear los efectos de la erosión eólica sobre la salida de partículas de tierra.

#### Referencias bibliográficas citadas

CONDORI(D.), 1992. Caracterización del trabajo de dos tipos de suelo a secano en relación a su comportamiento hídrico. Tesis de grado Ing. Agr., UMSS, Cochabamba, Bolivia, 140 p.

REINAGA (G.I.), 1983. Diferentes sistemas de preparación del suelo y siembra en el cultivo del trigo. Tesis Ing. Agr. UMSS, Cochabamba, Bolivia, 143 p.